

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Návrh hoby CNC stroje s využitím pohonů a řízení z 3D
tiskárny

Design of a Hobby CNC Machine Using Actuators and
Control System from a 3D Printer

Student: Bc. Robert Dvořák, DiS.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, PhD.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Robert Dvořák, DiS.**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: **Návrh hoby CNC stroje s využitím pohonů a řízení z 3D tiskárny**
Design of a Hobby CNC Machine Using Actuators and Control System
from a 3D Printer

Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte současné možnosti pořízení malých CNC strojů pro potřeby kutilů.
- 2) Analyzujte komponenty pohonů různých typů 3D tiskáren, s ohledem na jejich použití, pro návrh a konstrukci malého CNC stroje.
- 3) Definujte požadavky na konstrukci hoby CNC stroje.
- 4) Navrhněte několik variant řešení a pomocí hodnotové analýzy vyberte optimální variantu.
- 5) Vypracujte kompletní dokumentaci pro realizaci, včetně potřebných výpočtů.
- 6) Zhodnoťte výslednou konstrukci a proveďte výpočet nákladů na realizaci.

Práci též doložte v elektronické podobě, ve formátu editoru MSWORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

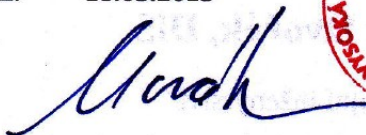
- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online] [cit. 2013-11-07]. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace)
- [2] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [3] ISO 690. *Bibliografické citace: Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. [online] 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. [cit. 2013-11-07]. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>](http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf)
- [5] VUT Brno Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. *Studijní opory*. [online] [cit. 2014-11-11] Dostupné z [www: <http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/?page_id=23>](http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/?page_id=23)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

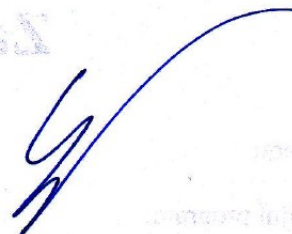
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 15. 5. 2015



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15. 5. 2015



Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Robert Dvořák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horymírova 2973/10, Ostrava 700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DVOŘÁK, R. *Návrh hoby CNC stroje s využitím pohonů a řízení z 3D tiskárny: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 77 s. Vedoucí práce: Konečný, Z.

Ve své diplomové práci se zabývám konstrukčním návrhem malého hoby CNC stroje pro více technologií. V úvodu práce formou rešerše, seznamuji čtenáře s malými CNC stroji a s možnostmi jejich pořízení. Dále se věnuji analýze komponentů pro pohon malých CNC strojů, zejména 3D tiskáren. V další části práce se věnuji stanovením požadavků na takovýto hoby CNC stroj. Zpracoval jsem tři konstrukční návrhy a z nich pak pomocí hodnotové analýzy vybral optimální variantu. Při navrhování stroje jsem se pokusil o minimalizaci ceny, použitím komponentů z nejlevnějšího typu 3D tiskárny. Vybranou optimální variantu jsem podrobil výpočtům, pro stanovení zatěžujících sil, při zachování předem definovaných technologických parametrů stroje. V závěru práce jsem provedl zhodnocení dosažených výsledků, dále výpočet a rozbor finančních nákladů na realizaci tohoto hoby CNC stroje. Vypracoval jsem kompletní 3D dokumentaci pro realizaci a 2D výkresovou dokumentaci v rozsahu stanoveném vedoucím.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DVOŘÁK, R. *Design of a Hobby CNC Machine Using Actuators and Control System from a 3D Printer: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 77 p. Thesis head: Konečný, Z.

In my thesis I deal with the structural design of a small hobby CNC machine meant for various technologies. In the introduction, I show readers small CNC machines and their possible acquisition through research. Furthermore, I analyze the components to power small CNC machines, especially 3D printers. The next section is devoted to setting requirements for such a hobby CNC machine. I drew three design proposals from them and then I made an optimum choice using value analysis. When designing a machine, I tried to minimize the price through using components from the cheapest type of 3D printer. I subjected the selected ideal option to analysis to set loading forces, while maintaining the predefined technological specifications of the machine. In conclusion, I evaluated the gained results, as well as the calculation and analysis of the financial cost of implementing this hobby CNC machines. I prepared a complete 3D documentation for the implementation and 2D documentation to the extent determined by the supervisor.

Obsah

Seznam použitých symbolů a značek.....	9
Úvod	11
1. Přehled prototypových a modelářských technologií	13
1.1. Rapid Prototyping.....	13
1.2. Plastové prototypy a modely - 3D tisk.....	13
1.3. Obráběcí technologie - CNC výrobní stroje.....	21
1.4. Obráběcí CNC stroje malých rozměrů.....	21
1.5. Dělicí, značící a gravírovací technologie.....	29
1.6. Laserové dělicí, značící a gravírovací CNC stroje.....	29
2. Popis komponentů pohonů používaných v 3D tiskárnách.....	34
2.1. Motory.....	34
2.2. Převody.....	38
2.3. Pojezdy - lineární vedení.....	41
2.4. Řízení a vládání CNC stroje.....	43
3. Požadavky na univerzální hoby CNC stroj.....	45
3.1. Definování požadavků na univerzální hoby CNC stroj – požadavkový list.....	45
3.2. Popis výchozího stavu zařízení - 3D tiskárny.....	46
4. Návrh alternativ řešení.....	48
4.1. Varianta I.	48
4.2. Varianta II.	51
4.3. Varianta III.	54
5. Výběr optimální varianty.....	57
5.1. Hodnocená kritéria.....	57
5.2. Určení významnosti kritérií.....	58
5.3. Bodová stupnice hodnocení.....	58
5.4. Vážený index kritérií a zhodnocení.....	59
6. Detailní rozpracování optimální varianty.....	60

7.	Stanovení parametrů a zatížení stroje.....	66
7.1.	Stanovení parametrů - přesnosti posuvů stroje.....	66
7.2.	Stanovení parametrů – sil působících od motorů.....	66
7.3.	Rozbor zatížení konstrukce stroje.....	68
7.4.	Pevnostní kontrola – výpočet únosnosti pracovní desky.....	69
7.5.	Zhodnocení pevnostní analýzy a nosnosti stroje.....	71
8.	Celkové zhodnocení konstrukce a stanovení nákladů.....	71
8.1.	Zhodnocení konstrukce CNC stroje.....	71
8.2.	Stanovení nákladů na pořízení CNC stroje.....	72
	Závěr.....	73
	Použitá literatura a zdroje.....	75
	Seznam příloh.....	77

Seznam použitých symbolů a značek

symbol.....	[jednotka]	veličina
d_{r2}	[mm]	střední (nosný) průměr řemenice
L_{XY}	[mm]	minimální délku posuvu v osách X a Y
o	[mm]	obvod kruhu
π	[1]	Ludolfovo číslo
L_Z	[mm]	minimální délku posuvu v ose Z
P	[mm]	stoupání (rozteč) metrického závitu
M_k	[Nm]	kroučící momentu krokového motoru
F_{KMxy}	[N]	síla od krokového motoru působící v osách X a Y
r_{r2}	[mm]	poloměr řemenice
d_{z2}	[mm]	střední průměr hrubého stoupání závitu
ψ	[°]	úhel stoupání normálního (hrubého) metrického závitu
α	[°]	vrcholový úhel pro metrický závit
f_z	[1]	součinitel smykového tření
φ'	[°]	redukovaný třecí úhel na metrickém závitu
F_{Tz}	[N]	vodorovnou složka reakce třecího odporu v závitu
M_{Tz}	[Nm]	moment třecího odporu kladený závitem matice
F_{gx}	[N]	celková gravitační síla působící na pojezd osy X
m	[Kg]	hmotnost obrobku
R_{gx}	[N]	rekční síla působící v uložení pojezdu osy X
F_{gy}	[N]	celková gravitační síla působící na pojezd osy Y
R_{gy}	[N]	rekční síla působící v uložení pojezdu osy Y

F_o [N] síla od technologií (obrábění) působící na pojezd osy Y

F_C [N] celková síla působící na pojezd osy Y

R_{o1} [N] rekční síla působící v horní části uložení pojezdu osy Y

R_{o2} [N] rekční síla působící v dolní části uložení pojezdu osy Y

M_r [Nm] rekční moment v ložiscích pojezdu osy Z

Úvod

I dnes, v době počítačem podporovaných konstrukčních prací s možností věrného zobrazení návrhu, s možností provedení pevnostních simulací, kinematických, dynamických a jiných analýz, mají designéři a konstruktéři stále potřebu si navržený výrobek co nejdříve „osahat“ a vyzkoušet. Výroba prototypů a modelů navrhovaných dílů je tak stále velmi důležitou součástí vývoje, nejen pro podniky, ale i pro jednotlivce.

V prvních fázích vývoje jsou prototypy a modely důležité pro posouzení vzhledu a tvaru dílů. Pro posouzení designu, vzhledu a tvaru stačí zmenšený model, prototypy se však vyrábějí v měřítku. Tyto kusy jsou často nefunkční a pevnostně nevyhovující, a jsou využity pouze pro stylisty a designéry. Díly či celé sestavy jsou pro tyto účely většinou tisknuty na 3D tiskárnách, popřípadě obráběny z jednoho kusu materiálu na CNC obráběcích strojích, jedná se především o plastové díly, nebo díly z lehkých kovů.

V další fázi vývoje jsou vyráběny tzv. funkční prototypy. Ty jsou opět vyráběny na 3D tiskárnách, popřípadě obráběny z jednoho kusu opět na CNC obráběcích strojích, ovšem ve větší kvalitě a z kvalitních materiálů. Jedná se pouze o výrobu v jednotkách až desítkách kusů. Pro série od 100 ks se používají jiné technologie, jako např. vakuové lití, pro malosériovou výrobu se využívají hliníkové formy. Cena sériových ocelových forem je řádově 10krát vyšší než cena formy prototypové a úpravy v sériové formě jsou také výrazně dražší, proto je výhodné před započítím jejich výroby mít výrobek v podobě funkčního prototypu důkladně odzkoušen.

V důsledku potřeby vytvářet 3D prototypy a modely, ať už vyráběné na 3D tiskárnách, nebo obráběním, došlo k rozvoji těchto oborů – počítačem řízených, tzv. CNC strojích. CNC stroje a jejich řízení, které nám tuto možnost dávají byli vynalezeny koncem 50tých let. CNC stroje vycházejí z číslicově řízených NC strojů (numeric controlled), kdy k nim pak byli první počítače použity jako prvek provádějící řídicí operace, tvorbu a editaci řídicích programů.

CNC stroje dnes zahrnují široký rozsah různých technologií, především obrábění, ale i tváření a dělení materiálu (např. vodním paprskem, plamenem, laserem) a další. Také 3D tiskárny, nabízejí mnohem širší využití, než ta, pro která byla původně navržena. Také bylo vyvinuto mnoho odlišných principů 3D tisku.

CNC stroje jsou využívány k odstranění lidského faktoru z výroby pro zvýšení přesnosti, snížení ceny výrobků a automatizaci celého výrobního procesu. CNC stroje jsou řízeny počítačem za pomoci připravených NC programů, které se skládají z alfanumerických znaků tvořících bloky, nebo věty. Díky tomuto řízení je stroj univerzální a jednoduchou změnou programu, případně nástroje, je možné vytvářet výrobky různých tvarů a velikostí. V důsledku toho došlo ke sloučení různých pracovních postupů na jeden univerzální stroj, na rozdíl od předešlého postupu výroby, kdy produkt putoval mezi jednotlivými obráběcími pracovišti.

CNC stroje se dnes již vyskytují téměř v každé oblasti strojírenské výroby. Obecný model CNC stroje obsahuje počítač, který pomocí řídicího programu zpracovává kód a skrz rozhraní komunikuje s řídicí jednotkou. Řídicí jednotka zpracovává povely a řídí pohybovou soustavu stroje, realizuje posun a spíná nástroje v pracovním prostoru CNC stroje. Pomocí senzorů je poté možno zjistit koncové pozice posuvného zařízení, vzdálenost nástroje nad pracovní plochou, nebo lokace obrobku v pracovní ploše.

CNC stroje v sobě dnes dokážou kombinovat více výrobních metod a technologických operací. Typickým příkladem je CNC obráběcí centrum. Znamená to tedy, že lze na jednom stroji provést více technologických operací. Vznikají též různé specializované stroje s CNC řízením, např. měřicí stroje a další, vyvíjené podle specifických požadavků zákazníků.

Konstrukteři strojů dnes také postupují modulárně a stavebnicovým způsobem, aby mohli co nejrychleji a co nejlépe uspokojit požadavky zákazníků, snížit náklady, tedy i cenu prodávaného stroje, který se tak stává dosažitelnějším i pro zcela nový okruh zákazníků, např. kutily a modeláře.

1. Přehled prototypových a modelářských technologií

1.1. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (*RP*) neboli rychlá výroba prototypů. Jedná se o výrobní procesy sloužící k rychlé výrobě prototypových dílů z kovu, nebo častěji z plastu s využitím aditivních - nárůstových technologií (např. využitím technologií FDM, DMLS, SLS atd.). Opakem aditivních technologií jsou technologie založené na principu odebírání materiálu (např. třískové obrábění, sekání, elektroerozivní obrábění, apod.).

Rapid Prototyping označuje technologie používané pro výrobu prototypů, zejména metodami aditivní výroby. Význam lze chápat jako synonymum pro 3D tisk.

1.2. Plastové prototypy a modely - 3D tisk

3D tisk je laické označení technologie tzv. aditivní výroby, při níž vzniká výsledný produkt postupným nanášením stavebního materiálu po velmi tenkých vrstvách, které se vzájemně spojují např. tavením nebo lepením. Na rozdíl o tzv. konvenčních způsobů výroby, jako je třeba třískové obrábění, při nich je materiál naopak odebírán, lze s pomocí 3D tisku vytvářet náročné tvary a konstrukce, jež by nebylo možné zhotovit žádným jiným způsobem. 3D tisk je pro rychlou přípravu výroby vhodný zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Hojně je proto využíván pro výrobu prototypů.

3D tiskárna je zařízení, ve kterém je prostřednictvím některého z postupů tzv. aditivní výroby stavěn fyzický výrobek. Zdrojem pro jeho tvorbu je virtuální počítačový model vytvořený v grafickém 3D softwaru (např. CAD), uložený nejčastěji do datového formátu STL. 3D tiskárny využívají různé technologie 3D tisku. V současnosti se vývoj těchto zařízení rozděluje na dvě větve, kdy se vedle strojů určených k profesionálnímu a produkčnímu nasazení, objevují i nesrovnatelně levnější přístroje zaměřené na „běžné spotřebitele“ z řad technických nadšenců a domácích kutilů.

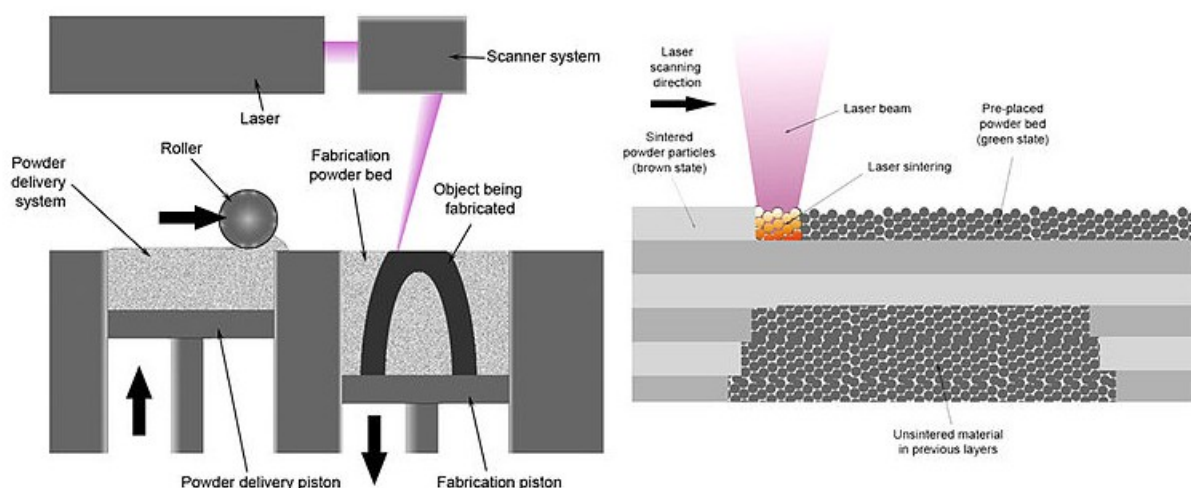
Aditivní výroba označuje proces, při němž vzniká výrobek postupným nanášením tenkých vrstev na sebe. Ačkoliv je aditivní výroba v podstatě totéž, co 3D tisk, nebo rapid prototyping, na rozdíl od těchto pojmů se využívá zejména pro označení procesů, při nichž vzniká koncový výrobek, a nikoliv jen prototyp.

Technologie 3D tisku je používána pro svou rychlost a jednoduchost. Vyrobené díly ale nedosahují takových pevností jako vstřikované díly a při použití těchto dílů jako pohledových je nutná úprava, a to nejčastěji tmelením, broušením a lakováním tak, aby povrch odpovídal potřebám zákazníka. V případě, že prototypový díl přesahuje výrobní prostor 3D tiskárny lze jej pro tisk rozdělit a po tisku slepit dohromady.

3D tisk pracuje na různých principech, kdy ty nejčastěji používané pro výrobu modelů a prototypů jsou uvedeny v následujících odstavcích:

SLS – Selective Laser Sintering

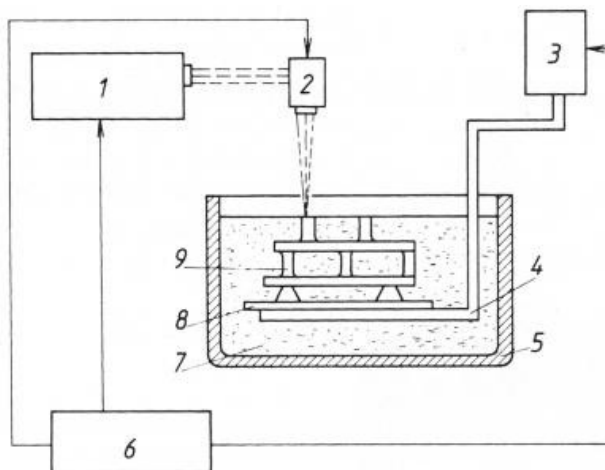
Metoda SLS – selective laser sintering (*selektivní laserové spékání*) spočívá ve spékání speciálního prášku silným laserem po slabých vrstvách (cca 0,1mm). Tento prášek je nanášen na plochu pracovního stolu tiskárny v ochranné atmosféře a následně spečen v místě tisknutého dílu. Po spečení je stůl posunut o tloušťku vrstvy, je nanesena nová vrstva a celý proces se opakuje do vytvoření celého dílu. Uvedená metoda jako jediná umožňuje tisk z kovových materiálů a je ideální pro subtilní a vzdušné struktury.



Obr. 1: Schéma zařízení pro technologii laserového spékání

SLA– Stereolitografie

SLA stereolitografie je nejstarší z používaných technologií. Princip spočívá ve vytvrzování tekutého kompozitu – pryskyřice – laserovým paprskem. Po vytvrzení vrstvy se zvedne hladina a je vytvrzena další vrstva. Jedná se o rychlou a levnou technologii, ovšem její nevýhodou je toxicita pryskyřice a malá pevnost modelů.



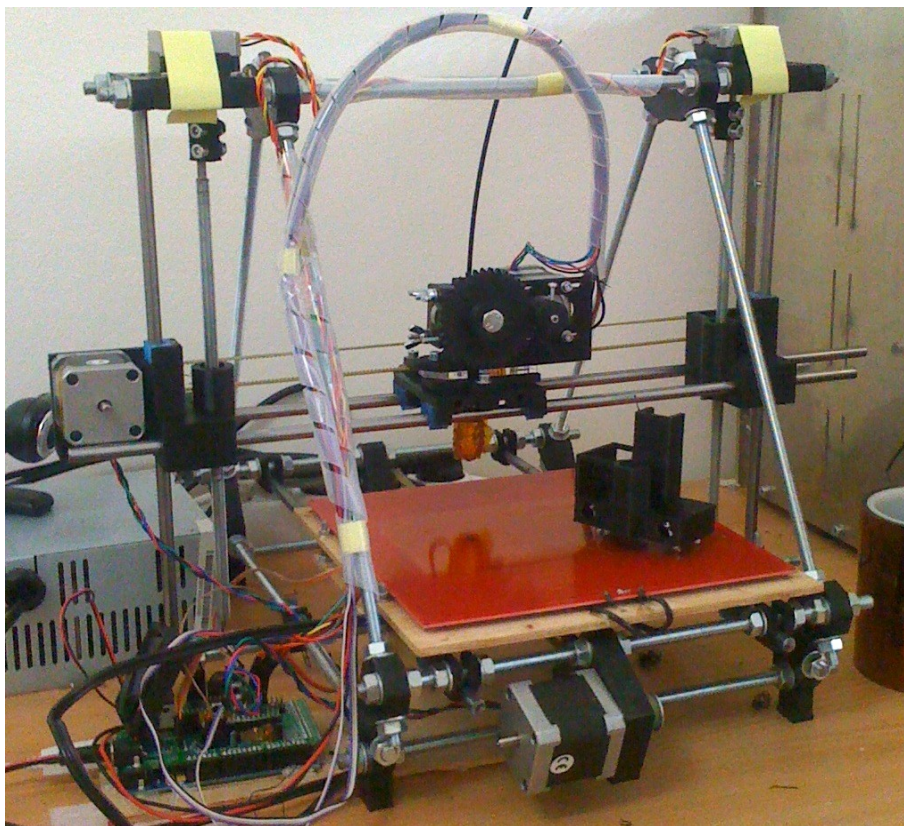
*Obr. 2: Schéma zařízení pro technologii stereolitografie
(1 - laser, 2 - pracovní hlava laseru, 3 - systém pro posuv nosné desky, 4 - nosná deska, 5 - pracovní vana, 6 - CNC řídicí systém, 7 - fotopolymer, 8 - podložka, 9 - vyráběná součást)*

FDM – Fused Deposition Modeling

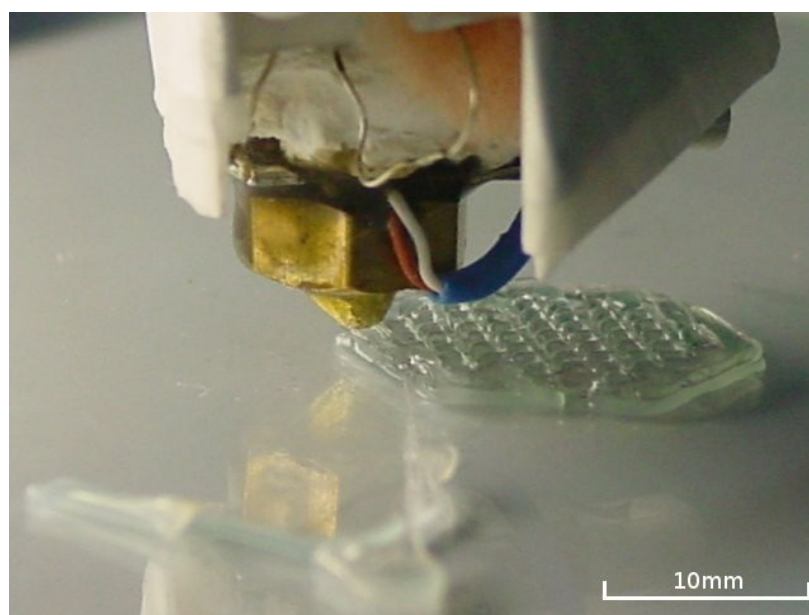
Metoda FDM – fused deposition modeling je nejrozšířenější metoda 3D tisku a spočívá v postupném nanášení roztaveného materiálu po velmi tenkých vrstvách (cca 0,25mm) pomocí řízené tiskové hlavy. Počítačový CAD model se načte do ovládacího programu, zde se nadefiniuje tloušťka stavební vrstvy, poloha dílu ve stroji, vygenerují se řezy v definované síle. V místech, kde by byl základní materiál „ve vzduchu“ se využívá pomocného materiálu, který tvoří podpěru základnímu materiálu. Informace resp. program se odešle do 3D tiskárny k tisku dílu. Pomocný materiál je nakonec odstraněn pomocí ultrazvuku nebo ve speciální lázni. Výhodou metody je velké množství použitelného materiálů (PP, ABS, PC,...). Nevýhodou je menší pevnost modelu a hrubá struktura.

Tento typ 3D tiskárny se v poslední době nejen velice rozšířil, ale i zlevnil, čímž se zpřístupnil širší veřejnosti, např. architektům a designérům, ale i modelářům a kutilům.

Nejznámějším a světově nejrozšířenějším typem 3D tiskárny s metodou tisku FDM se stal typ: RepRap, který je možné si objednat jako stavebnici a sám si jej může člověk postavit, dle návodů volně dostupných na internetu.



Obr. 3: 3D tiskárna typu FDM – známý RepRap v1 (konstrukce Prusa)



Obr. 4: Detail tisku – nanášení vrstev roztaveného plastu tiskovou hlavou

Příklady malých 3D tiskáren:

3D Factories Visions



Obr. 5: Ukázka cenově dostupné malé profesionální 3D tiskárny (FDM) fy 3D Factories, model: Visions

Technické údaje:

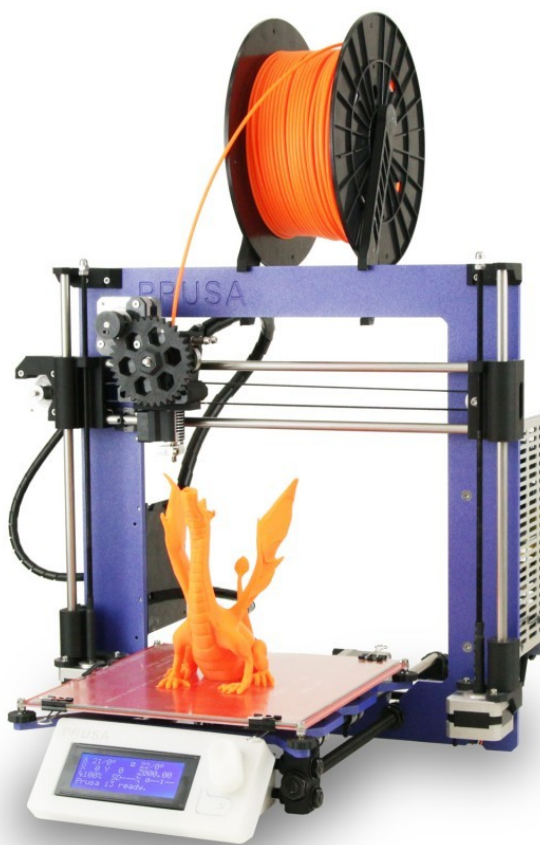
Rozměry: (š, h, v)	430x330x365
Hmotnost:	18 Kg
Pracovní prostor:	150x150x150
Tiskový materiál:	ABS a PLA struna(1,75mm)
Tryska:	0,3 mm
Rozlišení tisku:	0,1 / 0,2 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Max. rychlost tisku:	80mm/s
Pracovní posuv:	150 mm/s
Napájení	230 V / 65W

Tab. 1: Technické údaje 3D tiskárny fy 3D Factories, model: Visions

Zdroj: http://www.bscom.cz/3d-factories-visions-cerna-0-3mm_d369771/

Cena s DPH: 40.317,00 Kč

Prusa i3



Obr. 6: Ukázka malé hoby 3D tiskárny (FDM) fy Prusa, model: i3 Plus

Technické údaje:

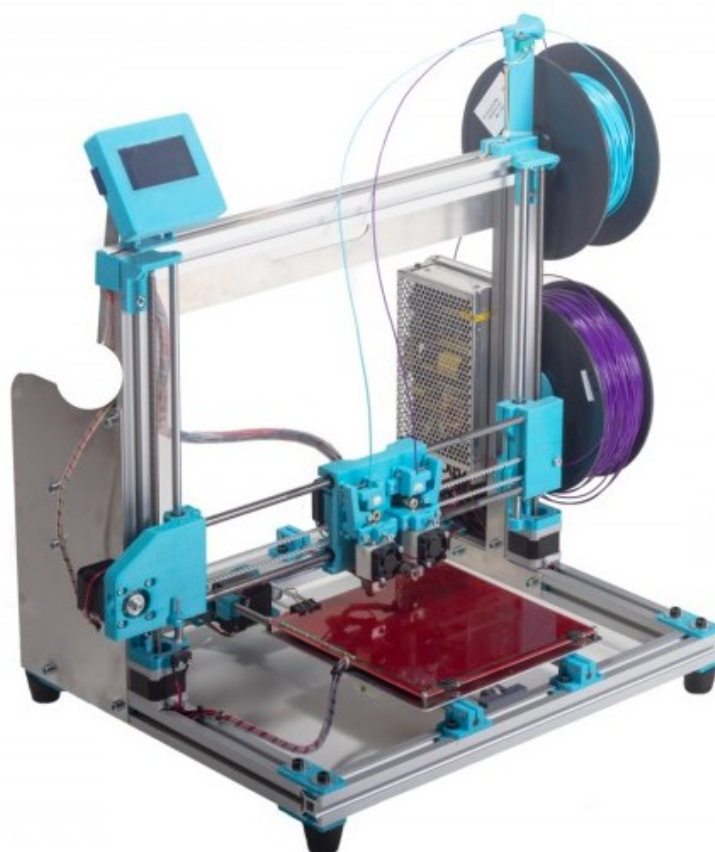
Pracovní prostor:	200x200x200
Tiskový materiál:	ABS, PLA PETT, Laywood, Laybrick, Nylon a PC struna(1,75mm)
Tryska:	0,4 mm
Rozlišení tisku:	0,1 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Ovládací software stroje	PrinRun
Výška vrstvy:	od 0,05 mm
Max. rychlost:	200 mm/s
Napájení	230 V / ?W

Tab. 2: Technické údaje 3D tiskárny fy Prusa, model: i3

Zdroj: <http://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/53-3d-tiskarna-prusa-i3-plus-s-lcd.html>

Cena s DPH: 25.999,00 Kč

Stavebnice 3D tiskárny Poseidon



Obr. 7: Ukázka malé 3D tiskárny (FDM) pro hoby účely se dvěma extrudéry, výrobek české fy rerapobchod, model: Poseidon

Technické údaje:

Pracovní prostor:	200x200x250
Tiskový materiál:	ABS, PLA, PETT, Laywood struna(1,75mm)
Tryska:	0,4 mm
Rozlišení tisku:	0,1 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Ovládací software stroje	PrinRun
Výška vrstvy:	od 0,05 mm
Max. rychlost:	200 mm/s
Napájení	230 V / ?W

Tab. 3: Technické údaje 3D tiskárny fy rerapobchod, model: Poseidon

Zdroj: http://rerapobchod.cz/test/index.php?id_product=102&controller=product&id_lang=2

Cena s DPH: 15.680,00 Kč

Stavebnice 3D tiskárny 3DP01



Obr. 8: Ukázka velice levné malé 3D tiskárny (FDM) pro hobby účely fy Heacent z Číny, model: 3DP01

Technické údaje:

Rozměry: (š, h, v)	450x450x450
Hmotnost:	9 Kg
Pracovní prostor:	200x200x100
Tiskový materiál:	ABS a PLA struna(3mm)
Tryska:	0,4 mm
Rozlišení tisku:	0,2 mm
Ovládací software stroje	PrinRun
Výška vrstvy:	od 0,2 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Max. rychlost tisku:	40cm ³ /h
Napájení	230 V / 200W

Tab. 4: Technické údaje 3D tiskárny fy fy Heacent, model: 3DP01

Zdroj: <http://www.dx.com/cs/p/heacent-3dp01-diy-3d-printer-full-assembly-kit-black-silver-110-220v-220815#.VUCqYpOqmwQ>

Cena s DPH: 9.000,00 Kč

1.3. Obráběcí technologie - CNC výrobní stroje

Obrábění materiálů (nejčastěji kovu) je technologický proces, kterým se vytváří požadovaný tvar obráběného předmětu (obrobku), v daných rozměrech a v daném stupni přesnosti, a to odebíráním materiálu, kdy břit nástroje vniká do materiálu a odděluje od něj třísky. Relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem se jmenuje řezný pohyb. Základem obrábění je teorie vzniku třísky. Tím se liší od jiných technologií, například dělení materiálu (stříháním), tváření nebo odlévání. Mezi obráběcí technologie patří zejména vrtání, vystružování, soustružení a frézování.

Starší postupy ručního, resp. ručně - strojního obrábění ustoupily v moderní době CNC strojnímu obrábění. Pojem CNC (Computer Numerical Control) značí: počítačem (číslicově) řízený (stroj). CNC je tedy zkratkou z anglického „Computer Numerical Control“, která se používá i u nás, ve spojení s obráběcím strojem lze používat ekvivalent "počítačem řízený obráběcí stroj", tedy obráběcí stroje využívající počítač "CNC řídicí systém" k tomu, aby dokázali obrábět výrobek dle předem připravených technologických NC programů. Základní rozdělení obráběcích strojů je na soustružnické, frézovací a kombinované. Dále existují CNC stroje na elektroerozivní obrábění a CNC stroje řezací: kyslík-acetylén, plasma, laser a vodní paprsek.

1.4. Obráběcí CNC stroje malých rozměrů

Stejně jako v 3D tisku došlo i u obráběcích strojů k rozvoji použití počítačových technologií a počítačového řízení. Došlo k jeho zlevnění a tím zpřístupnění širší veřejnosti z řad technických nadšenců.

CNC stroje malých rozměrů jsou vhodné k výrobě tvarově složitých a přesných součástí menších rozměrů z barevných kovů, plastů, dřeva a podobných materiálů. Malé CNC stroje, jako např. malá CNC frézka, jsou velice vhodné pro školní výuku obrábění, tak i pro všechny modeláře pro výrobu vlastních výrobků. Jsou vhodné zejména pro gravírování štítků, výrobu přístrojových panelů, plošných spojů, frézování otvorů do krabiček, frézování skeletů modelů lodí, letadel atd.

CNC stroje malých rozměrů jsou tedy ideální výrobní stroje pro tzv. hoby použití, pro modeláře a kutily, kteří vytváření „něco“ jen občas, většinou malých rozměrů a nemají na investici do velkých „profi“ zařízení.

Příklady malých portálových hoby CNC frézek:

Malá portálová CNC frézka fy RWetc. s.r.o.



Obr. 9: Malá portálová CNC frézka fy RWetc. s.r.o.

Precizní stolní modelářská tříosá CNC frézka v portálovém uspořádání s minimálními nároky na obsluhu a údržbu. Řídící elektronika a počítač jsou uloženy uvnitř ramen frézky. Je vybavená krokovými motory, přenos pohybu z pohonů na osy stroje je pomocí kuličkových šroubů. Pojezdové části jsou uloženy na podepřených vodicích tyčích. Stroj je vybaven stolem s T-drážkami. Okamžité zastavení stroje je možné centrálním stop tlačítkem. Frézka je řízena pomocí programu Linux CNC.

Technické údaje:

Rozměry: (š, h, v)	670x730x600
Hmotnost:	50 Kg
Upínací stůl:	500x375 AL, T-drážky/rozteč/počet:8 /50 /7
Zatížitelnost stolu:	20 kg
Rozsah posuvu - osa X:	250mm
Rozsah posuvu - osa Y:	350mm
Rozsah posuvu - osa Z:	85mm
Průchod pod osou Z:	110mm
Elektronické rozlišení:	0,0003 m
Přesnost najetí:	0,02 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Ovládací software stroje	Linux CNC
Komunikace s PC	RS232
Max. rychlost posuvu	2700mm/min
Pracovní posuv:	1500 mm/min
Napájení	230 V / 300W

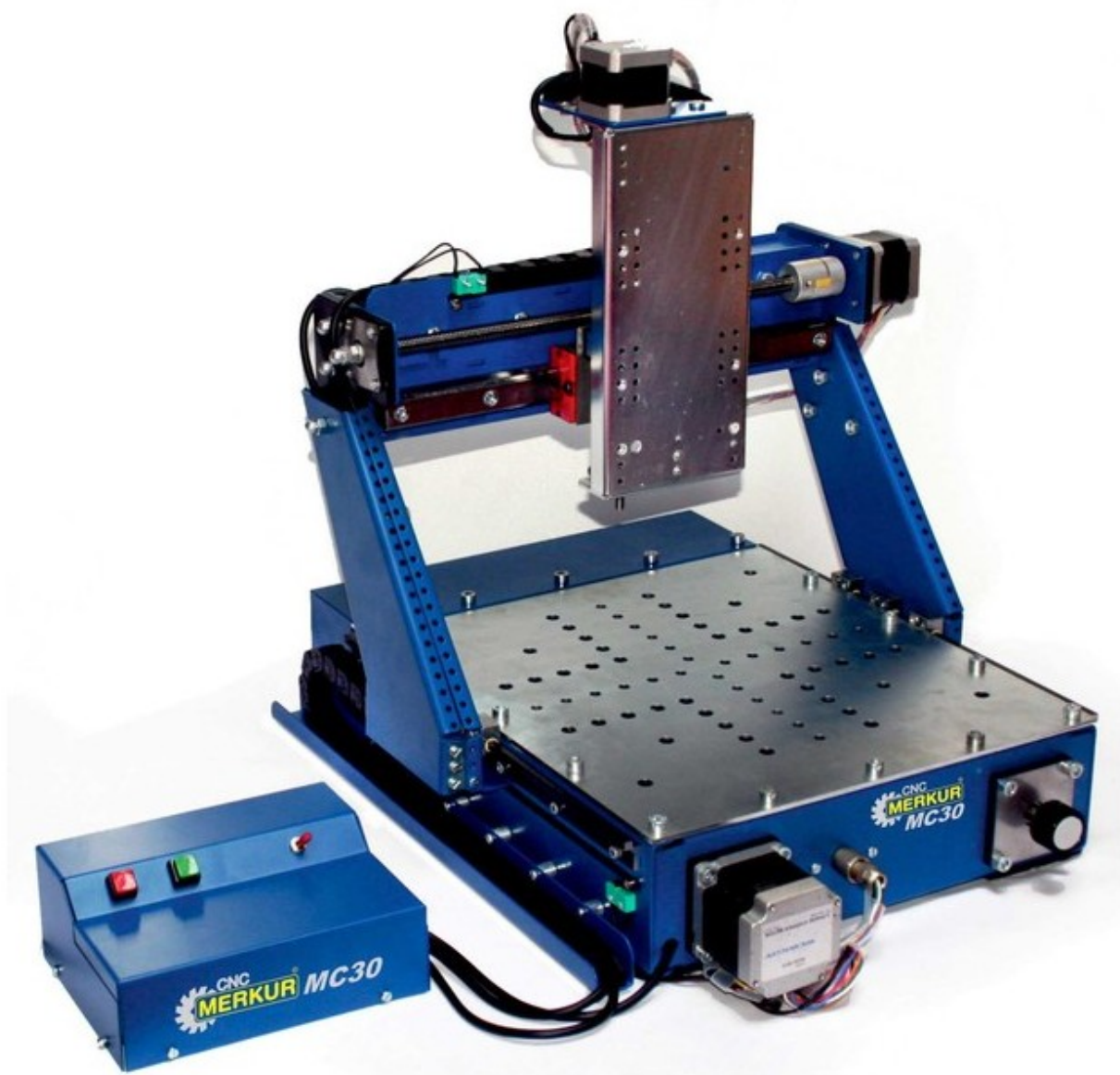
Tab. 5: Technické údaje CNC frézky fy RWetc. s.r.o.

Zdroj: http://rwetc.com/cnc/mala_cnc_frezka.html

Zdroj 2: <http://aukro.cz/portalova-cnc-frezka-i4748252670.html?source=mlt>

Cena s DPH: 65.000,00 Kč

MERKUR 3D CNC Frézovací stroj MC30



Obr. 10: 3D CNC Frézovací stroj MC30

Novým produktem ve výrobním programu společnosti MERKUR TOYS s.r.o. jsou počítačem řízené obráběcí stroje. Jedná se o precizní "hobby" obráběcí stroje ve stavebnicovém provedení, vyznačující se univerzálností, spolehlivostí, přesností obrábění a vysokou tuhostí stavebnicové konstrukce. Stroj je dodáván již postaven, seřízen a odzkoušen.

Jedná se o set precizní stolní modelářské tříosé CNC frézky v portálovém uspořádání s minimálními nároky na obsluhu a údržbu. Tento stroj je vhodný k obrábění dílů z hliníků, plastů, dřeva a podobných materiálů. Řídící elektronika je uložena v kompaktním boxu vedle stroje, kromě připojení k PC a napájení nejsou potřeba žádné další kabely. Ovládací box vedle stroje je vybaven centrálním tlačítkem stop. Pohodlné ovládání pomocí SW na PC. Osy Y a Z jsou uloženy na masivním předepnutém lineárním vedení s kuličkovými vozíky, osa X je uložena na kluzném bezúdržbovém vedení. Přenos pohybu z pohonů na osy stroje je pomocí trapézových šroubů s maticemi bez vůle. V základním vybavení set obsahuje sadu upínek pro upínání obrobků.

Volitelné příslušenství:

Možnost rozšíření o další příslušenství jako vřeteno, T-drážkový upínací stůl pro upínání, rotační osu, pro plně 4-osé obrábění, příslušenství pro odsávání třísek atd.

Technické údaje:

Rozměry: (š, h, v)	400x470x500
Hmotnost:	17 Kg
Pracovní prostor:	330x300x110
Průchod pod osou Z:	110mm
Upínací stůl:	330x300 AL
Rozsah posuvu - osa X:	180mm
Rozsah posuvu - osa Y:	210mm
Rozsah posuvu - osa Z:	90mm
Elektronické rozlišení:	0,0001 m
Přesnost najetí:	0,05 mm
Pohon stroje:	Krok. M.
Max. rychlost posuvu	5mm/s
Ovládací software stroje	Armote 1.14
Komunikace s PC	RS232
Napájení	24 V / 5A DC

Tab. 6: Technické údaje CNC frézky fy Merkur MC30

Zdroj: <http://www.merkurtoys.cz/vyrobky/cnc-obrabeci-stroje>

Cena s DPH: 33.400,00 Kč

Velmi přesná modelářská tříosá CNC frézka fy WEGSTR



Obr. 11: Modelářská tříosá CNC frézka fy WEGSTR



Obr. 12: Modelářská tříosá CNC frézka fy WEGSTR – detail vřetena

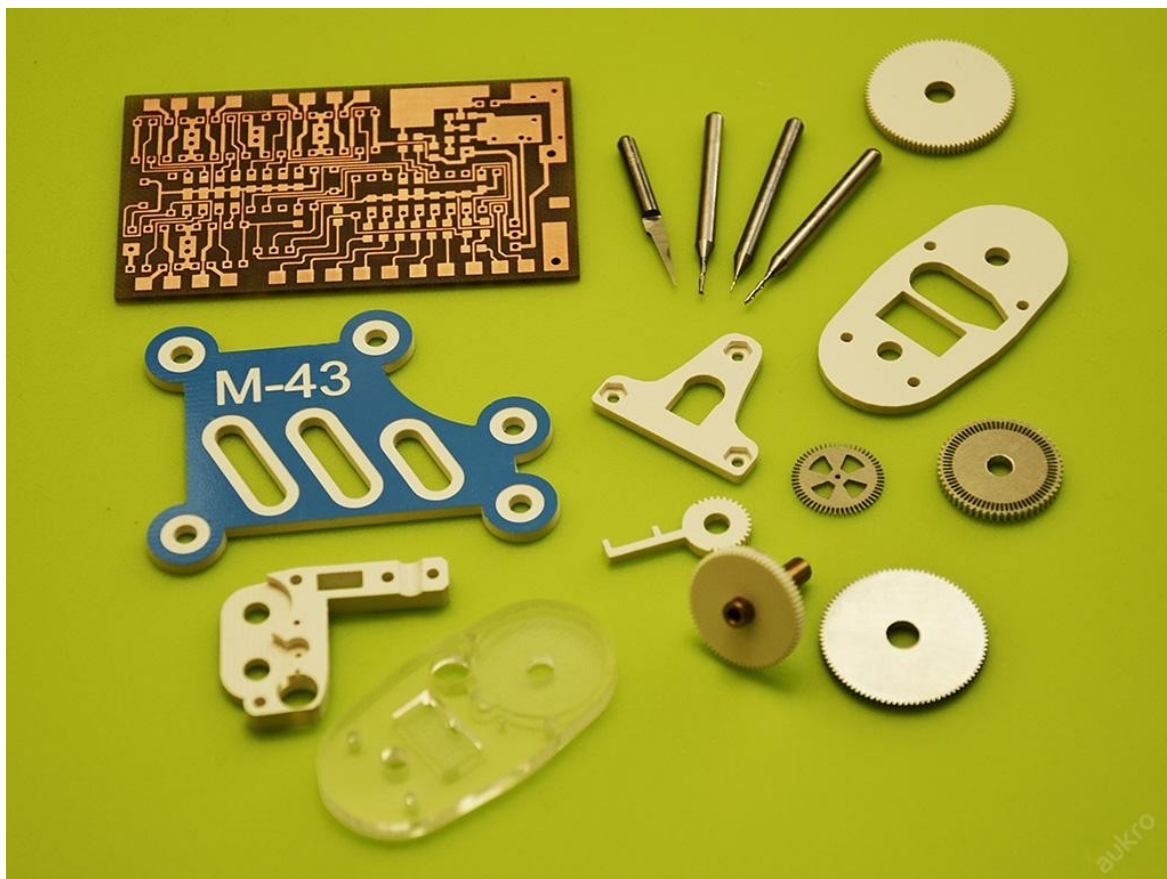
Velmi přesná modelářská tříosá CNC frézka pro gravírování, výrobu plošných spojů a různé frézování i 3D. Díky nízké hlučnosti se frézka hodí do panelákového bytu. Frézku lze obrábět měkké i tvrdé plasty, dřevo, hliník, dural, cuprexit, balsu, MDF, plexisklo, železo, mosaz, bronz atd. Pro řízení je vhodný program MACH3 a pro vytvoření projektu např. VECTRIC ASPIRE. Frézka se řídí pomocí počítače přes paralelní LPT port.

Frézka je vybavena unikátním systémem posuvu tří os s neustálým vymezováním vůle - stroj nemá ani po delším používání tzv. "vůli", proto je velmi přesný! Veškeré třecí plochy jsou tzv. "samomazné" - není třeba žádná údržba bezkomutátorové vřeteno s dlouhou životností (stejnoseměrné motory trpí opotřebením komutátorových uhlíků, tento stroj však žádné uhlíky nemá = dlouhá životnost! Napájení elektroniky vřetene je stejnosměrné 12V, ale uvnitř je to střídavý bezkomutátorový motor) - elektronická ochrana vřetene proti přetížení průměr upínaného nástroje: 3.175mm. Frézka je dodávána s 4ks obráběcích nástrojů.

Technické údaje:

Rozměry: (š, h, v)	380x460x290
Hmotnost:	6Kg
Pracovní prostor:	140x200x40
Otáčky vřetena:	6000ot/min
Pohon stroje:	Krok. M.
Max. rychlost posuvu:	120mm/min
Ovládací software stroje:	MACH3
Komunikace s PC:	LPT port
Napájení:	12 V

Tab. 7: Technické údaje CNC frézky fy WEGSTR



Obr. 13: Ukázka výrobků zhotovené modelářskou CNC frézkou fy WEGSTR

Zdroj: <http://www.wegstr.com>

<http://aukro.cz/cnc-frezka-presna-freza-pro-kutily-a-modelare-3d-i4722684949.html>

Cena s DPH: 16.335,00 Kč

1.5. Dělicí, značící a gravírovací technologie

Jako další technologií využitelnou, zejména kutily a modeláři, jsou CNC dělicí stroje, případně stroje značící a gravírovací CNC stroje.

Nejpoužívanější dělicí stroje jsou založeny na principu řezání: kyslíko-acetylenovým plamenem, plazmou, laserem, nebo vodním paprskem. Z nich pouze plasma a laser, se dobře hodí pro gravírování. A jediné posledně jmenovaná technologie má možnost být malých a kompaktních tvarů, zajímavých i pro drobné kutily a modeláře. Také většinou nepotřebují složité příslušenství (např. zásobníky plynu, ext. chlazení, vedení kapaliny, apod.). Laserové technologie jsou oproti ostatním zmíněným technologiím obecně velice efektivní a mají rychlou návratnost k vynaloženým pořizovacím nákladům.

1.6. Laserové dělicí, značící a gravírovací CNC stroje

Lasery jsou určeny k řezání a gravírování nekovových materiálů. Lze s nimi zpracovávat dřevo, látky, většinu plastů, ale s vyššími výkony, např. s CO₂ lasery není problém ani dělení a gravírování do skla a kovů.

Hloubka řezu laserem se ovlivňuje nastavení výkonu laseru a rychlostí řezání v ovládacím software. Pro vyřezávání se nakreslí nebo importuje obrazec jednotlivých řezů. Pro každou barvu linie se následně definuje rychlost a výkon řezu.

Technologie laseru je založena na koncentraci energie optického záření v prostoru, čase a na interakci záření s látkou. Optický svazek vystupující z laseru se pomocí optiky soustředí do malého bodu, který je v interakci s pevnou látkou a má za následek nejprve její ohřev a tavení, a nakonec její odpaření.

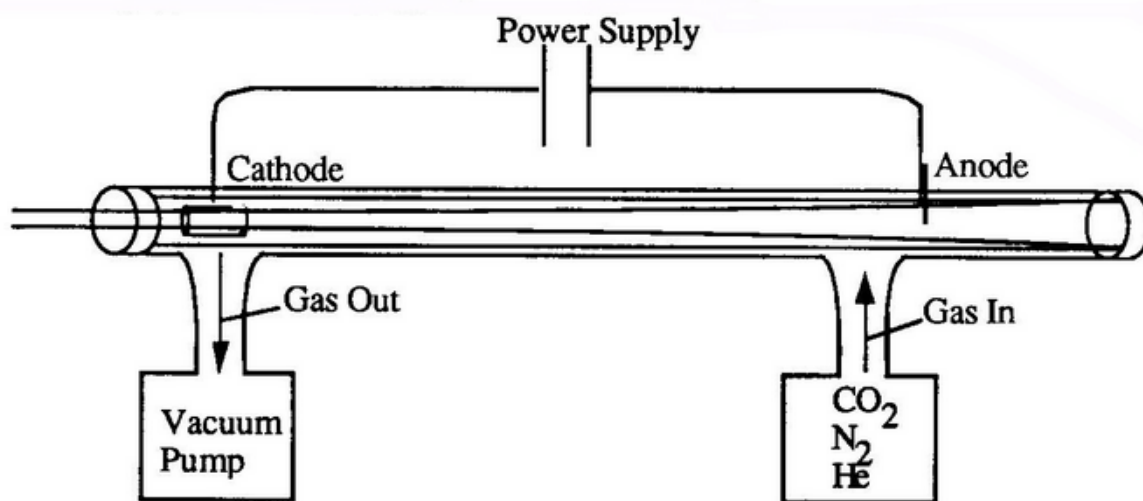
Hlavní přednost obrábění je právě možnost koncentrace vyzařované energie do jednoho bodu. V tomto bodě se provádí ohřev s takovou rychlostí, že se vyvíjené teplo nestihne rozšířit. Energie koncentrovaná do jednoho bodu zde vyvíjí tak vysokou teplotu, že je možné provést odpaření požadované části materiálu bez většího zásahu do krystalografického uspořádání okolí opracovávané oblasti.

Jednou z největších výhod laseru je především jeho univerzálnost. Jedním přístrojem lze provádět více druhů operací. Stačí pouze změnit zaostření paprsku a tak provést také změnu velikosti ohřívané plochy.

Výše popsané výhody laserového obrábění tedy umožňují používat laser k vrtání, řezání, popisování, resp. gravírování součástí.

CO₂ laser

CO₂ laser je plynový laser, kdy laserové záření vzniká v prostředí lampy naplněné kombinací vzácných plynů a plynu CO₂, toto aktivní prostředí je buzené doutnavým elektrickým výbojem. CO₂ lasery se vyznačují relativně vysokou účinností 8-10 %. A v současné době pouze CO₂ lasery dosahují požadovaného rozsahu výstupních výkonů 1-30 kW, a proto patří mezi nejrozšířenější lasery vůbec. Aktivní prostředí v laserové lampě se po nějakém období znehodnotí, a proto je třeba po nějaké době (cca 10000h provozu) lampu vyměnit. CO₂ laser se v průmyslu nejčastěji používá k řezání. Předností je úzký a čistý řez, který zaručuje minimální tepelný vliv na okolní materiál.

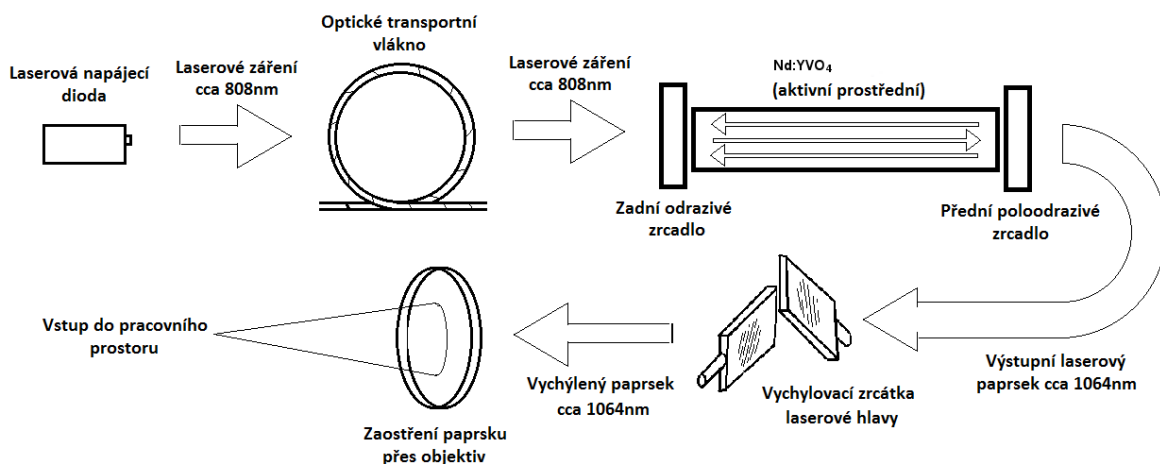


Obr. 14: Princip CO₂ plynového laseru

Pevnolátkový laser

Diodami čerpaný pevnolátkový krystalový laser se řadí mezi pevnolátkové lasery, kdy je aktivní prostředí krystalu čerpáno laserovými diodami. Vlnová délka jeho záření se pohybuje v oblasti infračerveného světla, jeho přesná charakteristika závisí mimo jiné na typu použitého krystalu (Nd:YAG, Nd:YVO₄ a další).

Do krystalu z vzácných zemin tvořícího aktivní prostředí laseru je čerpána energie za pomoci svítivých polovodičových diod. Mezi diodami a krystalem je buď transportní optické vlákno, anebo je krystal buzen přímo laserovými diodami. Krystal a jeho geometrie jsou koncipovány takovým způsobem, aby v něm docházelo k postupné akumulaci energie, která je následně zpracována vychylovacími zrcátky a optikou objektivu skenovací hlavy. Tyto lasery mají velmi dobrou účinnost a kvalitu paprsku. Následně fokusovaným laserovým paprskem je možné popisovat, gravírovat, vrtat anebo jinak upravovat materiály reagující na danou vlnovou délku laserového záření.



Obr. 15: Princip diodami čerpaného pevnolátkového krystalového laseru

Příklady malých portálových hoby CNC frézek:

Kompaktní gravírovací a řezací CO₂ laser MT3050C-V250W

Kompaktní varianta profesionálního stolního CO₂ laseru s výkonem 50W. Jedná se o inovovanou verzi oblíbeného CO₂ laseru MT3050C určenou zejména pro soukromé využití. Díky kompaktnímu provedení zabírá výrazně méně místa a vejde se tak do každé dílny. Novinkou je využití inovované řídicí jednotky, která umožňuje komunikaci přes LAN a grafický ovládací displej. CO₂ laser MT3050C-V2 je vybaven manuálně nastavitelným pracovním stolem. Stejně jako ostatní modely umožňuje plně autonomní provoz při opakovaném zpracování souborů z FLASH USB disku, navíc obsahuje i možnost řízení z počítačové sítě LAN. Verze laseru 3050C-V2 je svým mechanickým provedením vhodná i pro zpracování objektů s větší výškou. Pracovní rozsah stolu je cca 200mm. Hmotnost: 1,5 kg. Podrobnější technické údaje nejsou veřejně dostupné.



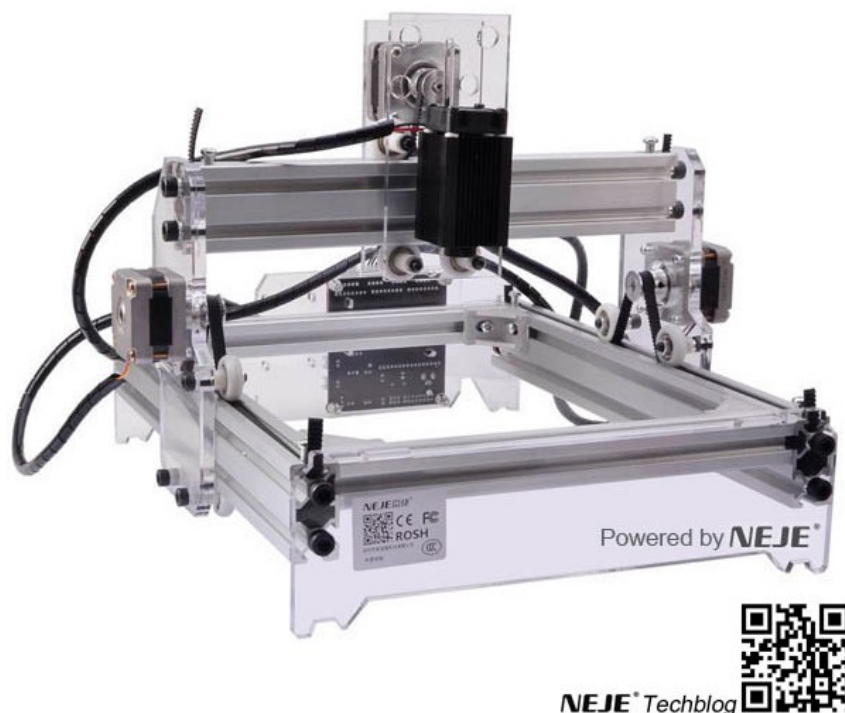
Obr. 16: Ukázka CO₂ gravírovacího laseru MT3050C-V2

Zdroj: <http://cnc.inshop.cz/stolnilasery/kompaktnigravirovaciarezacico2laser50w%5BMT3050C-V2%5D?ItemIdx=1>

Cena s DPH: 72.479,00 Kč

Malý stolní 500mW pevnolátkový laserový gravírovací stroj fy NEJE

Tento 500mW malý stolní pevnolátkový laserový gravírovací stroj je ideální pro amatérské laserové gravírování, umožňuje tisk ve stupních šedi, má jednoduché funkce a přívětivou obsluhu. Stačí připojit k počítači, a pak můžete tisknout obrázky podle vlastní kreativity.



Obr. 17: Ukázka pevnolátkového gravírovacího laseru fy NEJE

Technické údaje:

Rozměry: (š, h, v)	310x250x150
Hmotnost:	2,1Kg
Pracovní prostor:	170x200
Opracovávané materiály:	dřevo, bambus, plast, papír, kůže, guma
Max. výkon laseru:	500mW
Komunikace s PC:	USB port
Napájení:	12 V

Tab. 8: Technické údaje pevnolátkového gravírovacího laseru fy NEJE

Zdroj: <http://www.dx.com/cs/p/neje-500mw-desktop-violet-laser-engraving-machine-printer-diy-kit-silver-transparent-380428#.VUNkw5OqmWR>

Cena s DPH: 6.000,00 Kč

2. Popis komponentů pohonů používaných v 3D tiskárnách

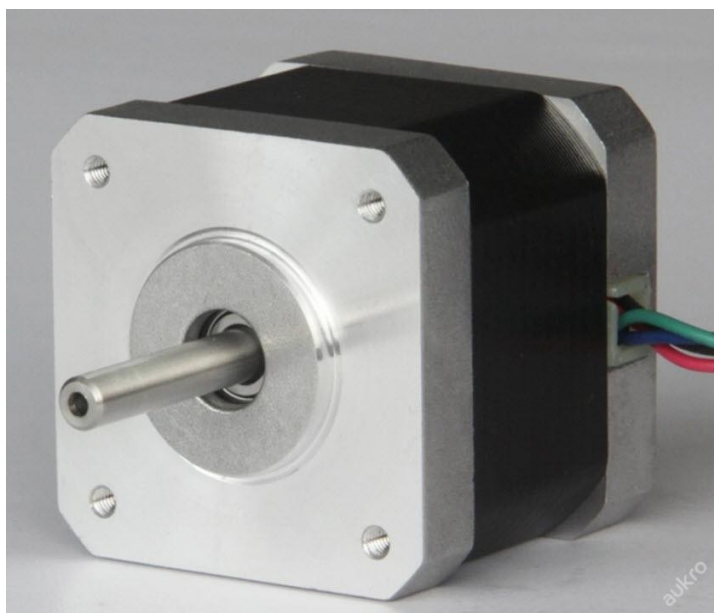
Jako pohon pro posuv jednotlivých os stroje lze využít mnoho různých druhů pohonů. Kromě lineárních motorů, ať už elektromagnetických, nebo pneumatických se bude jednat vždy o kombinaci motoru a nějakého druhu převodu převádějící rotační pohyb na lineární.

2.1. Motory

K pohonu CNC strojů by šlo využít v kombinaci s odměřovacími systémy teoreticky použít snad jakéhokoli motoru. V praxi se však pro pohon CNC strojů nejvíce osvědčili a používají pouze dva typy motorů, a to motor krokový a servomotor.

Krokový motor

Nejběžnější a nejčastějším pohonem využívaným k řízení CNC strojů jsou krokové motory. Tento druh pohonu je často používán z důvodu přijatelné ceny a jednoduchého řízení bez zpětné vazby, jsou spolehlivé a téměř bezúdržbové. Jsou to proto nejpoužívanější pohonné jednotky v hobby oblasti.

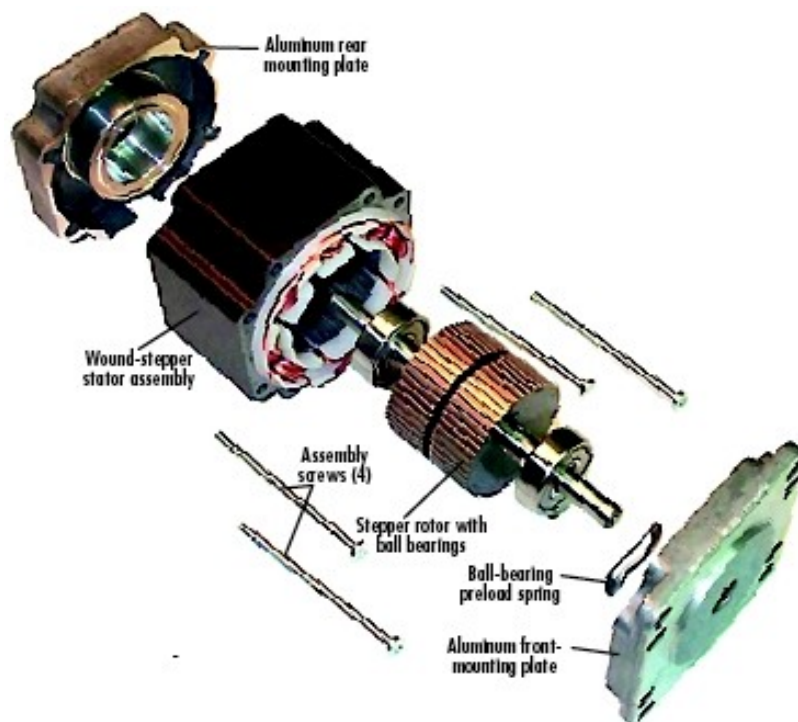


Obr. 18: Ukázka krokového motoru, zde velikost NEMA 17

Krokový motor je N-fázová pohonná jednotka, u které můžeme přesně natočit rotor dle potřeby a tím pádem ovládat souřadnicové mechanismy s vysokou přesností. Charakteristickou vlastností krokových motorů je nespojitý pohyb, který se realizuje po malých úsecích, jinak také krocích. K ovládání krokových motorů může být použito unipolárního nebo bipolárního řízení. Pohyb rotoru se uskutečňuje spínáním jednotlivých fází, označených nejčastěji písmeny, po jednotlivých fázích. Každé přepólování fází se poté počítá jako jeden krok.

Pro dosažení polovičních kroků můžeme střídát spínání jedné a dvou fází zároveň. Při spínání fází se rotor pootočí o celý krok, pokud ale poté sepne dvě po sobě jdoucí fáze zároveň, tak se rotor krokového motoru dostane do mezipolohy a my získáme poloviční krok. Tento způsob je však jen náhražkou mikrokrokování, protože jím získáme jen dvojnásobnou přesnost.

Krokový motor je v podstatě synchronní točivý stroj napájený impulsy stejnosměrného proudu. Pohyb rotoru je nespojitý, protože magnetické pole ve statoru je generováno postupným zapínáním napájení do pólových dvojic, rotor se poté pohybuje mezi tzv. kroky. Počet těchto kroků je dán konstrukcí motoru. Pro kvalitnější a plynulejší pohyb motoru lze vhodnou řídicí elektronikou a řízením tyto kroky rozdělit až na 1/256 původní hodnoty.



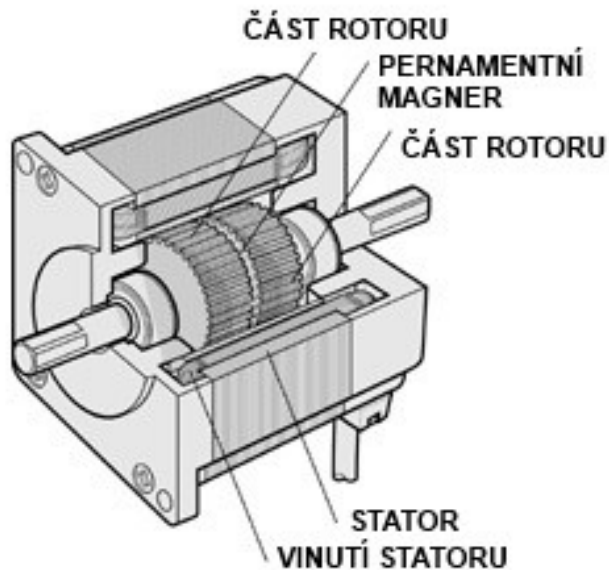
Obr. 19: Ukázka konstrukce krokového motoru

U krokových motorů nedochází k mechanickému kontaktu mezi jednotlivými prvky (výjimkou jsou ložiska) a mají tak vysokou mechanickou odolnost a dlouhou životnost bez údržby.

Nevýhodou krokových motorů je možnost ztráty kroku. Tato chyba se může vyskytnout při vysoké zátěži osy motoru, nebo při přetěžování motoru vysokou frekvencí přepínání jednotlivých fází. Při ztrátě více kroků může dojít od narušení pohybu až ke vzpříčení konstrukce a zničení CNC stroje. Dalším nedostatkem je už zmíněný limit rychlosti krokových motorů, který omezuje maximální rychlost posunu os CNC stroje a prodlužuje dobu nutnou k obrábění výrobků.

Nejmodernějšími krokovými motory, jsou třífázové krokové motory, které dosahují o 30% až 50% vyšší účinnost oproti jiným typům a to zejména při vyšších otáčkách. Dnes se nejčastěji setkáme s tzv. hybridními motory, které mají magnetický rotor s ozubením a vinutý stator s pólovými nástavci.

U nejběžněji dostupných typů krokových motorů, nejčastěji používaných v hoby CNC strojích, je přirozené rozlišení 200 kroků na otáčku, nebo-li $1,8^\circ/\text{krok}$.



Obr. 20: Ukázka krokového motoru v řezu

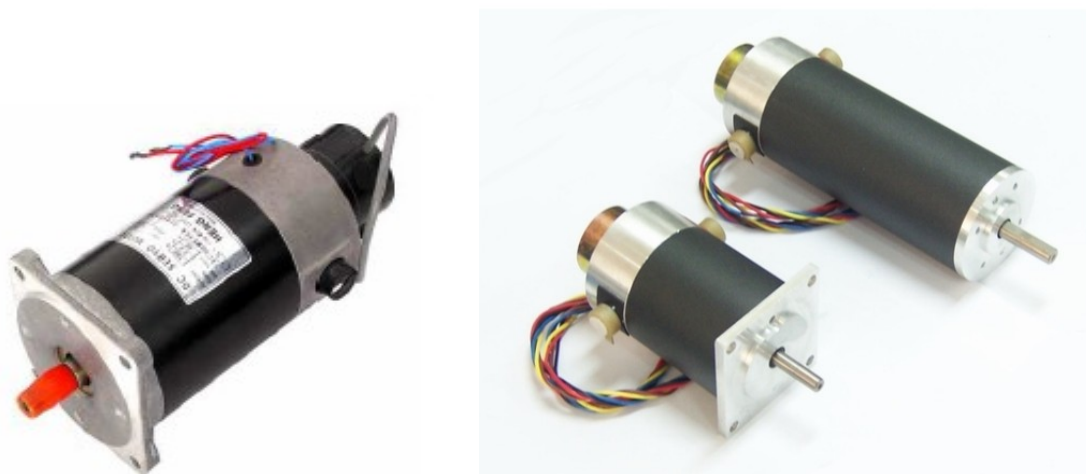
Servomotor

Je obecně jakýkoliv motor, který má na své hřídeli připojený inkrementální snímač polohy, tzv. „encoder“. Lze tak použít jak motorů stejnosměrných, tak střídavých, jejich poloha je snímána pomocí enkodéru a jeho signál je přiveden do regulátoru, který řídí polohu motoru. Takový pohon je kvalitnější, pohyb je plynulý a nehroží u něj ztráta kroku. Enkodéry i řídicí elektronika je dražší a používá se v profesionálních obráběcích strojích.

Pro realizaci pohybu CNC strojů je možné využít například DC motoru, který se svou střední rychlostí řadí mezi krokový motor a BLDC motor. DC motor je jednofázový stejnosměrný pohon, který je složen ze statoru s permanentními magnety a navinutého rotoru. Po přivedení napětí je magnetické pole statoru opačné od magnetického pole rotoru, který začne tento rozdíl vyrovnávat. Při otočení dojde k přepólování smyčky a tento proces se opakuje. Rychlost otáčení DC motoru je lineárně závislá na velikosti budícího napětí.

Další alternativou může být použití BLDC motorů, které vysokou rychlostí svého otáčení urychlí práci CNC stroje. BLDC motor je třífázový stejnosměrný motor, který je také nazýván bezúdržbový z důvodu absence kartáček. Rychlost otáčení BLDC motoru je závislá na frekvenci spínání jednotlivých fází a jeho otáčky jsou regulovány za použití zpětné vazby absolutního enkodéru na bázi halových sond. Je možné využít regulátor, který v závislosti na proudových rázech přepíná jednotlivé fáze motoru.

U těchto pohonů je však nutné zavedení sekundární zpětné vazby pro možnost sledování posunu pojezdů CNC stroje. Takto řešená pohybová jednotka je zpravidla nákladnější, investice do ní vložená se však díky možnosti zrychlení výroby zpravidla rychle vrátí.



Obr. 21: Ukázka několika typů servomotorů s integrovanými enkodéry

2.2. Převody

K převodu, převádějící rotační pohyb motorů na lineární pohyb, pro pohon posuvu jednotlivých os, se pro CNC stroje nabízí několik druhů převodů, níže popíši jen ty v praxi pro CNC stroje nejpoužívanější.

Lichoběžníkovým šroub

Profil závitu má tvar lichoběžníku, vrcholový úhel je 30° v případě rovnoramenného a 33° v případě nerovnoramenného závitu. Nerovnoramenné profily závitu se používají pouze v aplikacích, kde působí v jednom směru pohybu větší síla než v druhém např. lisy. Lichoběžníkový závit je závit s plošným stykem, tedy mezi maticí a šroubem se vyskytuje smykové tření, z toho plyne nižší účinnost a větší opotřebení. U profesionálních obráběcích strojů se dnes již nepoužívají. U hoby strojů jsou stále ještě z důvodů přijatelné ceny rozšířené, zejména pro pohon osy „Z“.



Obr. 22: Ukázka lichoběžníkového šroubu s maticí

Kuličkový šroub

V kuličkovém šroubu zprostředkovávají styk šroubu s maticí kuličky, které se odvalují a tak snižují tření mezi šroubem a maticí. Kuličky se odvalují v drážce šroubu a na konci drážky se pomocí deflektoru navracejí zpět, na začátek drážky. Většina šroubů má dnes drážku rozdělenou na několik kratších úseků. Tato šroubová vazba má podstatně vyšší účinnost a šetří tak energii hnacího motoru. Mazání matic se provádí tukem nebo olejem používanými pro mazání valivých ložisek. Výroba takového šroubu je náročnější a dražší, také uložení šroubu a matice v aplikaci musí být přesné, tuhé a maticová jednotka nesmí být zatěžována v jiném než axiálním směru. Kuličkové šrouby se široce používají u profesionálních strojů, pro použití v hoby verzích CNC strojů jsou však velmi drahá.



Obr. 23: Ukázka kuličkového šroubu s maticí

Metrický šroub

Tento typ závitů, který má rovnoramenný tvar s vrcholovým úhlem 60° není primárně určen pro pohybové aplikace, ale pro aplikace spojovací (je samosvorný), nicméně, pro svou jednoduchost a cenu si našel cestu i pro tyto účely. Samozřejmě jen u hoby strojů, kde jsou malé požadavky na četnost, přesnost a rychlost posuvu. Používá se nejčastěji u hoby provedení 3D tiskáren pro pohon osy „Z“.



Obr. 24: Ukázka metrického šroubu s maticí

Ozubený řemen

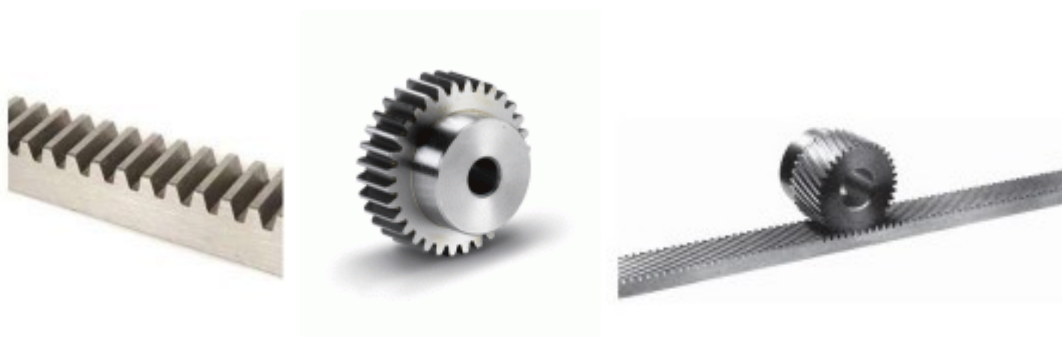
Velice častým převodem u malých a lehkých CNC strojů jsou ozubené řemeny s řemenicí. Tyto převody vynikají svou jednoduchou zástavbou do stroje, cenou a dostatečnou přesností, rozměrovou stabilitou i při namáhání, a to především pro hoby účely. Vynikající je i dosažitelná rychlost polohování – závisí na konkrétní konstrukci a použitých materiálech. Pro hoby účely, např. pro 3D tiskárny se nejčastěji používá Polyuretanový s kovovým kordem, velikost T5. Řemenice musí mít stejnou velikost (T5) a vyrábí se nejčastěji z hliníku jako odlitek, nebo extruzí s nalisovanými čely. Případně jako odlitek z plastu, nebo pro méně náročné aplikace a snížení nákladů i 3D tiskem.



Obr. 25: Ukázka ozubeného řemene a „profí“(Al) i „hoby“(3D tisk) řemenice

Ozubené hřebeny a kola

Méně častým převodem u malých a lehkých CNC strojů jsou ozubené hřebeny s kolem (pastorkem). Tyto převody taktéž vynikají svou jednoduchostí, dobrou přesností, ale už méně cenou. U té nejvíce záleží na provedení, zda jsou komponenty ocelové - kalené a broušené, anebo zda se jedná jen o plastové výlisky.



Obr. 26: Ukázka ozubeného hřebene, kola a sestavy převodu se šikmými zuby

2.3. Pojezdy - lineární vedení

Pojezdy, resp. lineární vedení slouží k přesnému vedení supportu s nástrojem, popř. pracovního stolu k zajištění pracovních pohybů pouze v předem definovaných směrech s předem definovanou přesností.

Nepodepřené tyče

Tento druh lineárního vedení je na trhu snadno dostupný, má nízkou pořizovací cenu, ale jeho velkou nevýhodou je nízká ohybová tuhost. Je použitelný pouze na krátké vzdálenosti a nenáročné aplikace. Lineární ložisko pro takové tyče může být řešeno jako kluzné nebo valivé.



Obr. 27: Ukázka lineárního vedení s nepodepřenými tyčemi

Podepřené tyče

Podepřené lineární tyče jsou oproti nepodepřeným sice finančně náročnější, ale tuhost takového vedení je nesrovnatelně vyšší než u nepodepřených tyčí. Podepření se provádí buď po celé délce, nebo po určitých úsecích. Takto podepřená tyč musí mít speciální dělené ložisko, které je umístěno v tělese a má možnost nastavení sevření.

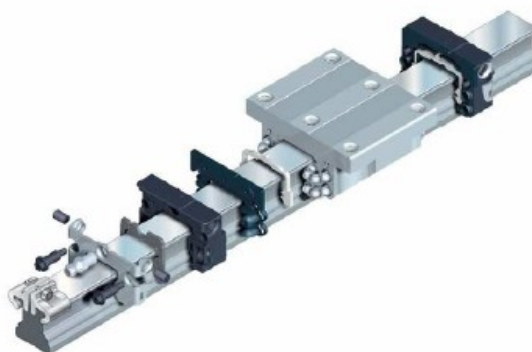


Obr. 28: Ukázka lineárního vedení s podepřenými tyčemi

Profilové tyče

Profilové tyče jsou nejkvalitnějším, průmyslově nejpoužívanějším, ale také nejdražším řešením lineárního vedení. Tyto tyče mají různý profil (symetrický, nesymetrický), různé valivé elementy (kuličky, válečky) a jsou tak méně či více vhodné na určité typy zatížení. U profesionálních obráběcích strojů se používá výhradně tento typ lineárního vedení.

Profilové tyče jsou nejkvalitnějším, průmyslově nejpoužívanějším, ale také nejdražším řešením lineárního vedení. Tyto tyče mají různý profil (symetrický, nesymetrický), různé valivé elementy (kuličky, válečky) a jsou tak méně či více vhodné na určité typy zatížení. U profesionálních obráběcích strojů se používá výhradně tento typ lineárního vedení.



Obr. 29: Ukázka lineárního vedení s nepodepřenými tyčemi

2.4. Řízení a vládání CNC stroje

K ovládání CNC strojů se používají řídicí jednotky. S počítačem probíhá obousměrná komunikace. Řídicí jednotka přijímá signály o kroku (STEP) a směru (DIR) otáčení krokového motoru. Nejčastěji jsou opatřena komunikačním rozhraním na bázi paralelního portu, kde je každý pohon řízen vlastními vstupy, a tím je zajištěno řízení v reálném čase. K simulaci paralelního portu, který již standardně nebývá součástí u nových počítačů, se proto používají speciální převodníky a zásuvné karty pro spojení s jinými typy portů, dnes nejčastěji s USB portem. (Novější řídicí jednotky jsou již USB portem opatřeny).

Řídicí programy CNC strojů jsou ve formě číselných informací popisujících činnost přístroje. Program se skládá z bloků zapsaných do řádku, tyto pak obsahují geometrickou informaci pro pohyb os a technologickou informaci pro nastavení otáček nástroje, chlazení, nebo typu pohybu. Řídicí příkaz je složen z adresy a číselného kódu. Adresa určuje, kam bude informace směřována, číselný kód určuje konkrétní hodnotu. Příkaz může být buď rozměrový, nebo bezrozměrný.

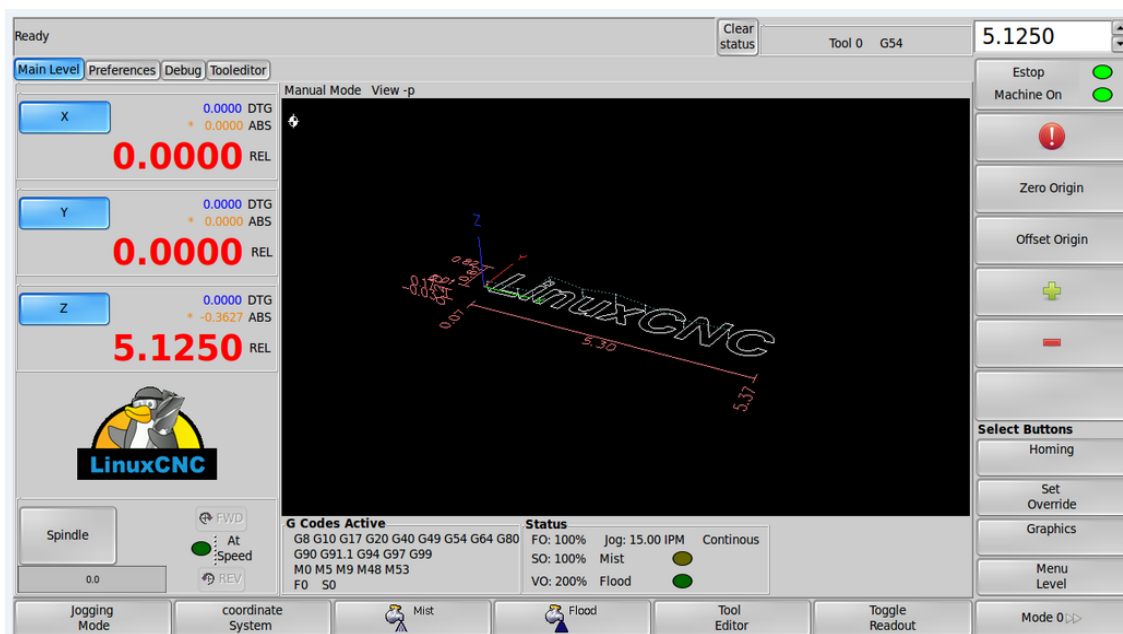
Rozměrový příkaz má významnou část tvořenou fyzikální veličinou a představuje např. polohu v příslušné ose, případně velikost otáček vřetena, velikost posunu atd. Bezrozměrný příkaz může mít více významů, geometrická funkce (G-kód) určuje, jakým způsobem se bude provádět pohyb (po přímce, kružnici) a technologická (M-kód) pro spuštění vřetena atd. Pomocí těchto instrukcí spíná řídicí program pohybovou jednotku a řídí pohyb hlavy CNC stroje, popřípadě ovládá nástroj, např. otáčky programu napsaného v G-kódu.

Jako další periferie je možno připojit koncové spínače, E-stop tlačítko, digitální odečet polohy a ručního ovládání.

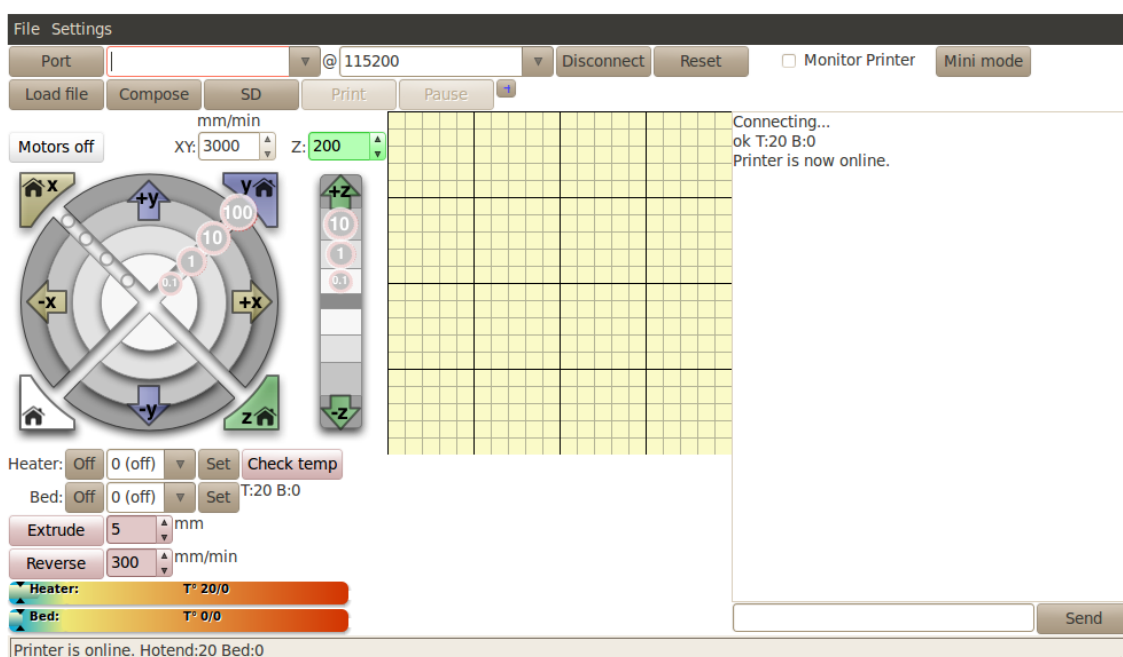
Pomocí koncových spínačů je možné nastavit a kalibrovat CNC stoj a nastavit počátky jednotlivých os. Koncové spínače pro jednotlivé osy jsou umístěny v jejich krajních pozicích a připojeny na příslušné vstupy řídicí elektroniky. Zároveň také chrání před mechanickým poškozením stroje v případě špatně napsaného řídicího programu. Tlačítko E-stop slouží k okamžitému zastavení zařízení uživatelem v případě vzniku nebezpečí pro obsluhu, nebo stroje samotného. Všechny tyto signály jsou přivedeny do řídicí elektroniky pomocí vstupního konektoru.

Pro tvorbu výrobků na CNC stroji je třeba dodržet určité postupy. Prvním krokem je převedení myšlenky na návrh součásti za pomoci příslušného CAD programu, kde se vytvoří její 2D nebo 3D model dle typu výrobku. Tento model je poté nutné zpracovat

CAM programem, který navrhne neoptimálnější trasu nástroje pro tvorbu výrobku. Výstupem je strojový kód, neboli posloupnost jednotlivých instrukcí a souřadnic, které definují trasu nástroje, tzv. G-kód a zpracování G-kódu se pak řídícím programem převádí na instrukce pro řízení CNC stroje. Nejznámější řídící programy pro hoby CNC stroje jsou: Mach 3, Linux CNC, Turbo CNC, Galaad, ARMOTE a Printron.



Obr. 30: Ukázka příkladu prostředí řídícího programu, zde program Linux CNC, jedná se o projekt „Open - Source“ a systém pro všeobecné řízení CNC strojů



Obr. 31: Ukázka příkladu prostředí řídícího programu, zde program Printron určený primárně pro ovládání 3D tiskárny

3. Požadavky na univerzální hoby CNC stroj

Tato práce si konkrétně klade za cíl navrhnout malý univerzální CNC stroj pro hoby účely, který bude snoubit více výrobních strojů v jeden. Cílem návrhu je tedy nabídnout designérům, modelářům a kutilům za jedny peníze s jediným univerzálním CNC strojem více užitečných vlastností. Toho se docílí jednoduchou změnou části stroje, případně také spuštěním jiného řídicího softwaru, čímž bude možné dle potřeby měnit požadovanou výrobní technologii.

3.1. Definování požadavků na univerzální hoby CNC stroj – požadavkový list

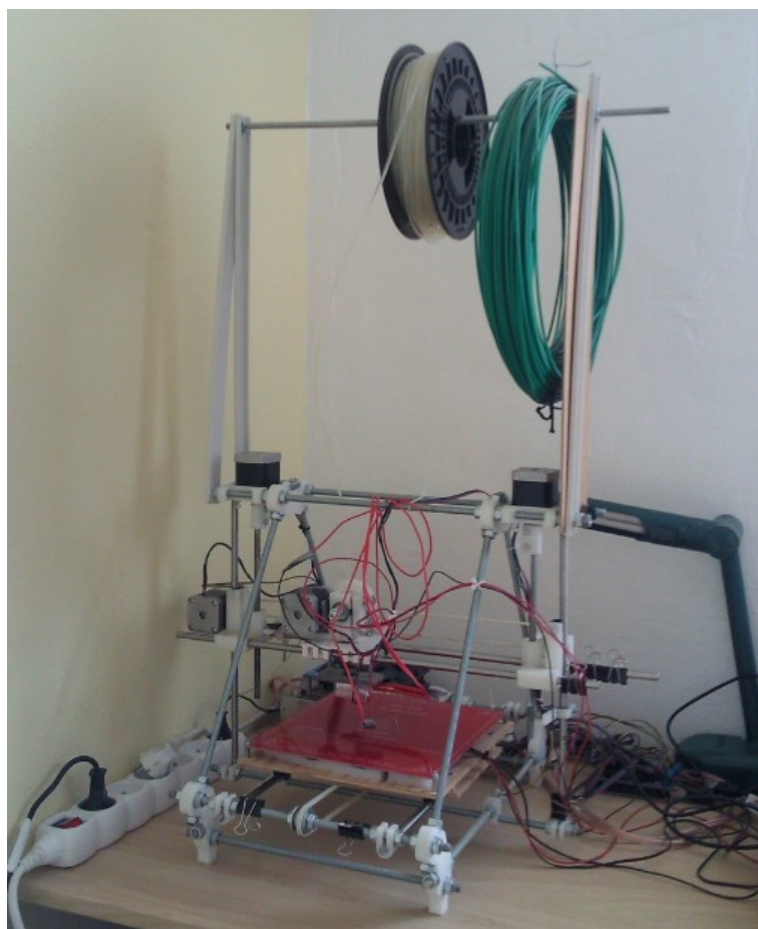
Požadavky na univerzální hoby CNC stroj:	
Využití pohonů a řízení z 3D tiskárny	Až 5ks KM, Arduino Mega 2560 z 3D tiskárny RepRap vč. příslušenství
Pracovní rozsah stroje	Maximální možný, min. však X, Y, Z = 200, 200, 150 mm
SW vybavení	Sávající SW pro 3D tisk (RepRap), jiný jen pokud také podporuje Mega 2560
Pracovní technologie (min. 3 druhy)	3D tisk, gravírování/mikro-frézování, kreslení perem (plotr), řezání/gravírování laserem, mikroplasma, vodní paprsek
Zpracovávané materiály pro 3D tisk	ABS, PLA, popř. další (PE, PS,...)
Zpracovávané materiály pro frézování	Dřevo, plasty, lehké a barevné kovy, kompozity plastů, PCB ad.
Realizace lineárního posuvu	Ozubený řemen, pohybový šroub, atd.
Vedení pojezdů	Osy (horizontální) X a Y pouze valivé vedení, osa Z valivé i kluzné
Konstrukce (tuhost)rámu stroje	Dřevo, plasty, lehké i těžké kovy, kompozity, aj.
Přesnost stroje	Stejná nebo lepší než 3D tiskárny, ze které jsou použity pohony a řízení
Cena stroje	Maximálně minimalizujte cenu stroje, při dodržení všech předchozích požadavků.

Tab. 9: Požadavkový list

3.2. Popis výchozího stavu zařízení - 3D tiskárny

Pro návrh tohoto stroje, jsem tedy jako základ pro zpracování návrhu, jak je uvedeno v požadavkovém listě, viz tab 9, pro pohon zvolil os nejrozšířenější krokové motory (KM) s přírubou NEMA 17 s 0,5 Nm krouticího momentu. Řízení jsem zvolil Arduino Mega 2560 (vč. příslušenství), protože je to také jedno z nejrozšířenějších, nejdostupnější a nejlevnějších řešení řízení KM. Je schopno ovládat až 5 krokových motorů a každý z nich napájet (dle použitého „driveru“ motoru) až 2,5A. Vše je z důvodů minimalizaci ceny převzato 3D tiskárny RepRap - z nejlevnějšího typu 3D tiskárny na trhu.

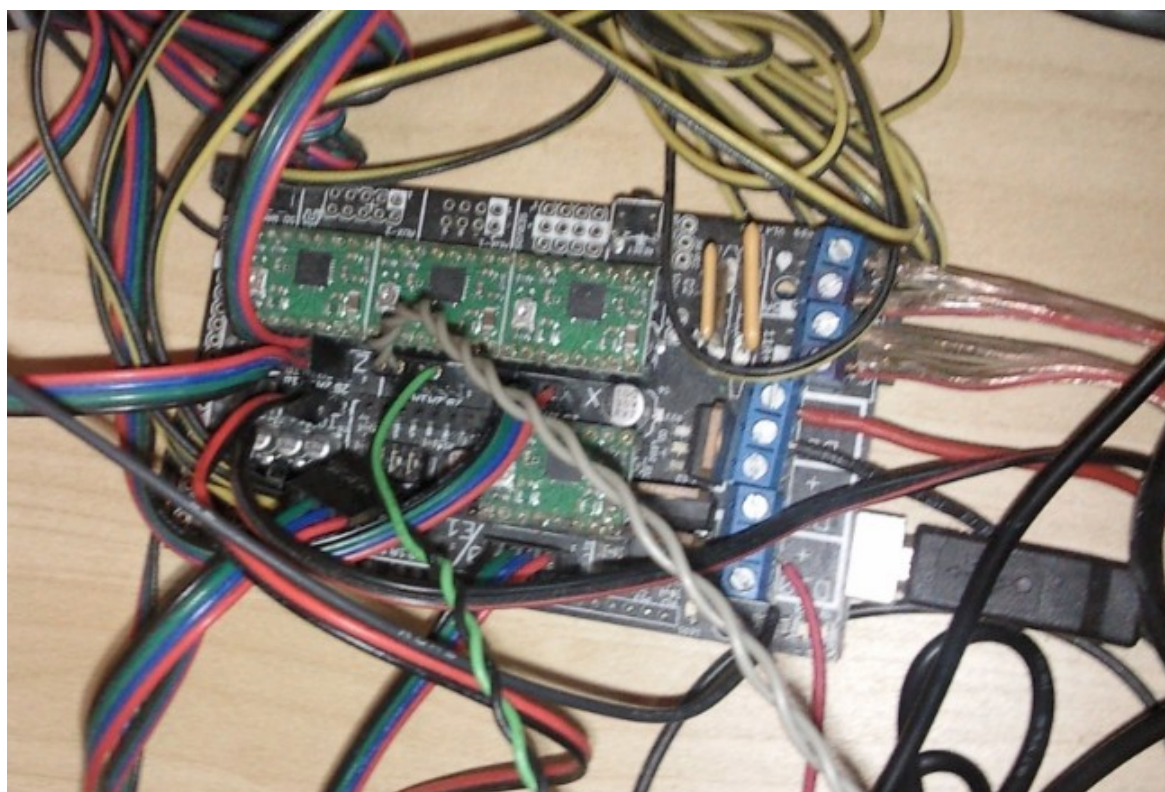
Shodou okolností také jeden exemplář této tiskárny vlastním, viz obr. 32, tak mám tyto podmíněné komponenty, viz obr. 33 a 34, ale i další využitelné komponenty (koncové snímače, vodící a závitové tyče, ozubené řemeny, ad.) pro realizaci stroje k dispozici, a také i potřebné „know-how“ k nim. Při návrhu stroje jsem však využití všech dalších dostupných komponent z 3D tiskárny RepRap nebral jako podmínku návrhu, ale pouze jako možnost jejich dalšího využití.



Obr. 32: Foto 3D tiskárny RepRap v současném stavu



Obr. 33: Ukázka krokového motoru NEMA 17, model: 42BYGHW811 fy Wantal Stepper Motor s kroutícím momentem 0,5Nm

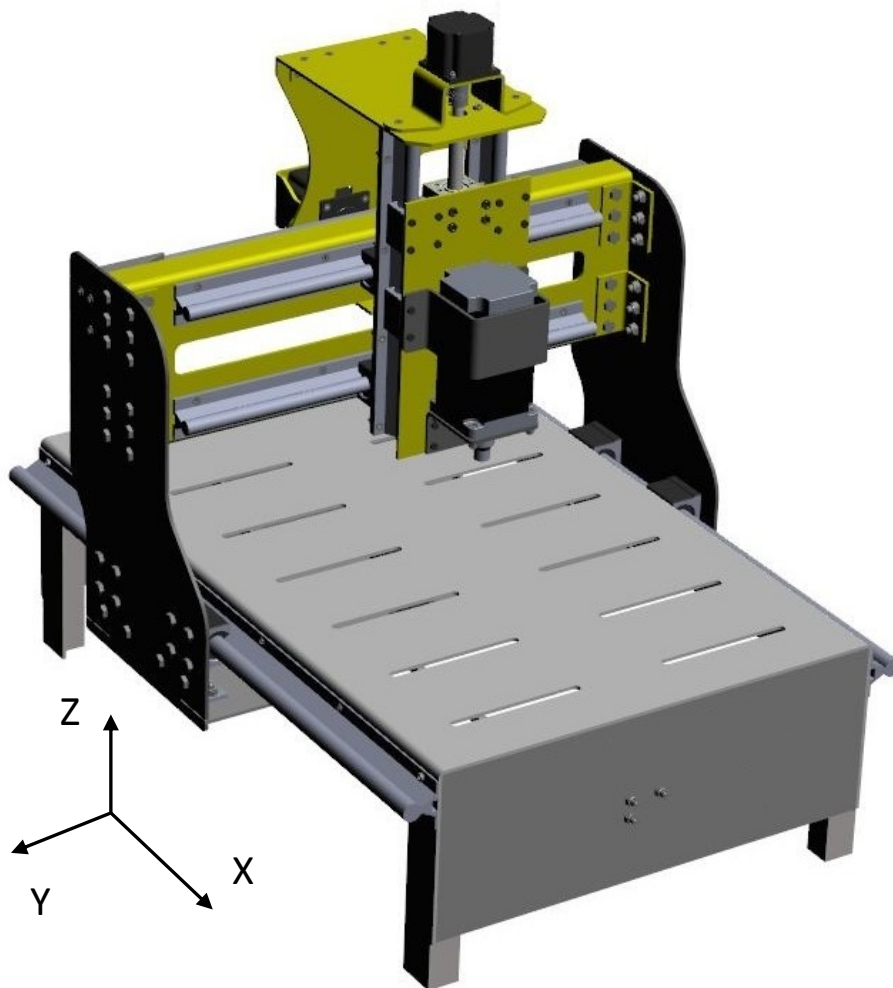


Obr. 34: Ukázka dostupného řízení Arduino Mega 2560 (vč. příslušenství),

4. Návrh alternativ řešení

Pro výběr nejhodnějšího typu konstrukce dle zadaných požadavků, jsem nejprve zpracoval tři konstrukční návrhy řešení CNC stroje.

4.1. Varianta I.

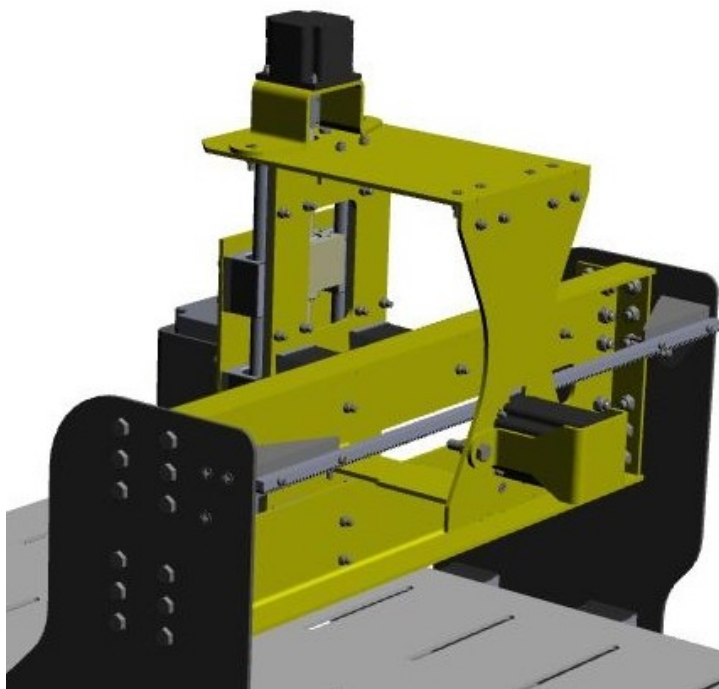


Obr. 35: Ukázka konstrukčního návrhu - VARIANTA I

První varianta je konstrukčně řešena jako masivní portálový stroj s podélným pojezdem (osa X) skrytými pod pracovní deskou. Pohybující se suportem a vřetenem nad pracovní deskou v ose X. Vedení pojezdů je rozdělené, cylindrické.

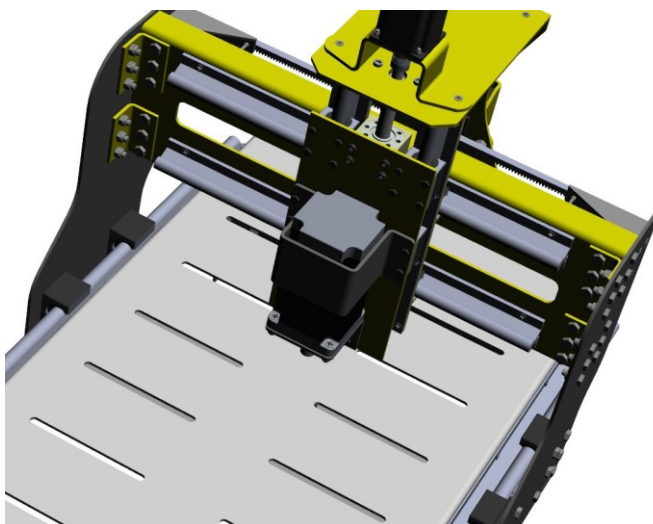
Jako pojezdy jsou zde navrženy kvalitní, valivé lineární ložiska, pohybující se na speciálních podepřených broušených profilech. Jedná se o nakupovanou podsestavu,

o \varnothing 16mm pro podélnou a příčnou osu, a o \varnothing 12mm pro vertikální osu (osa Z). Pohony posuvu os jsou realizovány krokovými motory NEMA 17 s převodem pomocí ozubeného kola a ozubeného hřebene pro podélnou a příčnou osu, viz obr. 36.



Obr. 36: Návrh řešení pohonu pro podélnou a příčnou osu - VARIANTA I

Pro posuv vertikální osy jsem použil trapézovou tyč a bronzovou matici, viz obr. 37.



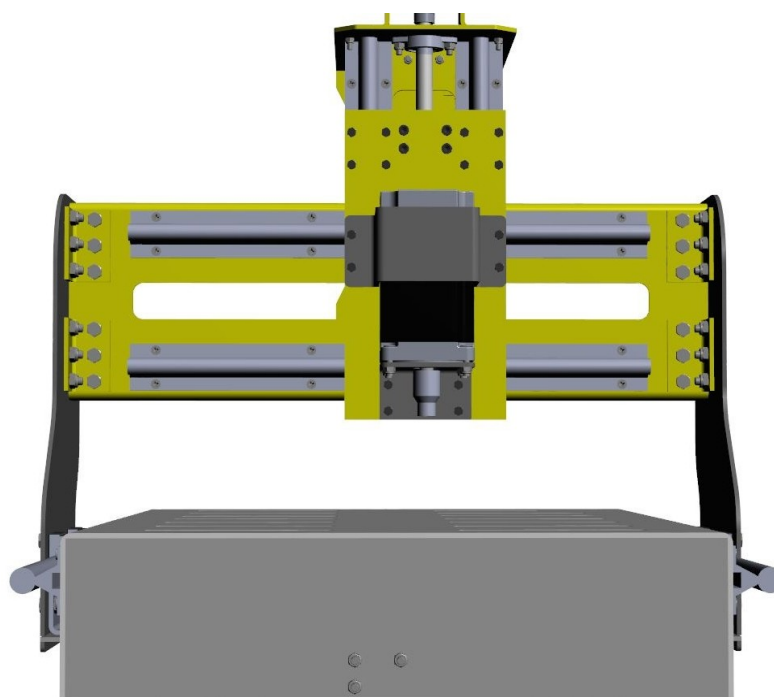
Obr. 37: Návrh řešení posuvu pro vertikální osu - VARIANTA I

Konstrukce tohoto CNC stroje je navržena jako robustní a vyrobena z ocelových laser/plasma výpalků tloušťky 4mm, které jsou bohatě perforovány pro umístění šroubových spojení a dle potřeby opatřeny ohyby. Dále jsou v konstrukci použity ocelové

čtvercové profily 35x35x3 mm. Díly jsou opatřeny práškovou barvou a celá sestava je smontována pouze šroubovými spoji.

Konstrukce je dostatečně dimenzovaná i pro možnost uchycení i výkonnějšího obráběcího vřetene (zobrazeno v návrhu), což by mělo umožnit ne jen gravírování, ale i výkonné frézování hliníkových a ocelových dílů, a to s vyšší přesností a vyšších obráběcích parametrů.

Suport vertikální osy (osa Z) je opatřen deskou s přesně zhotovenými závitovými otvory M6, kde je možné zobrazené vřeteno, viz obr. 38, nahradit jinou pracovní technologií, např. 3D tiskovou hlavou.

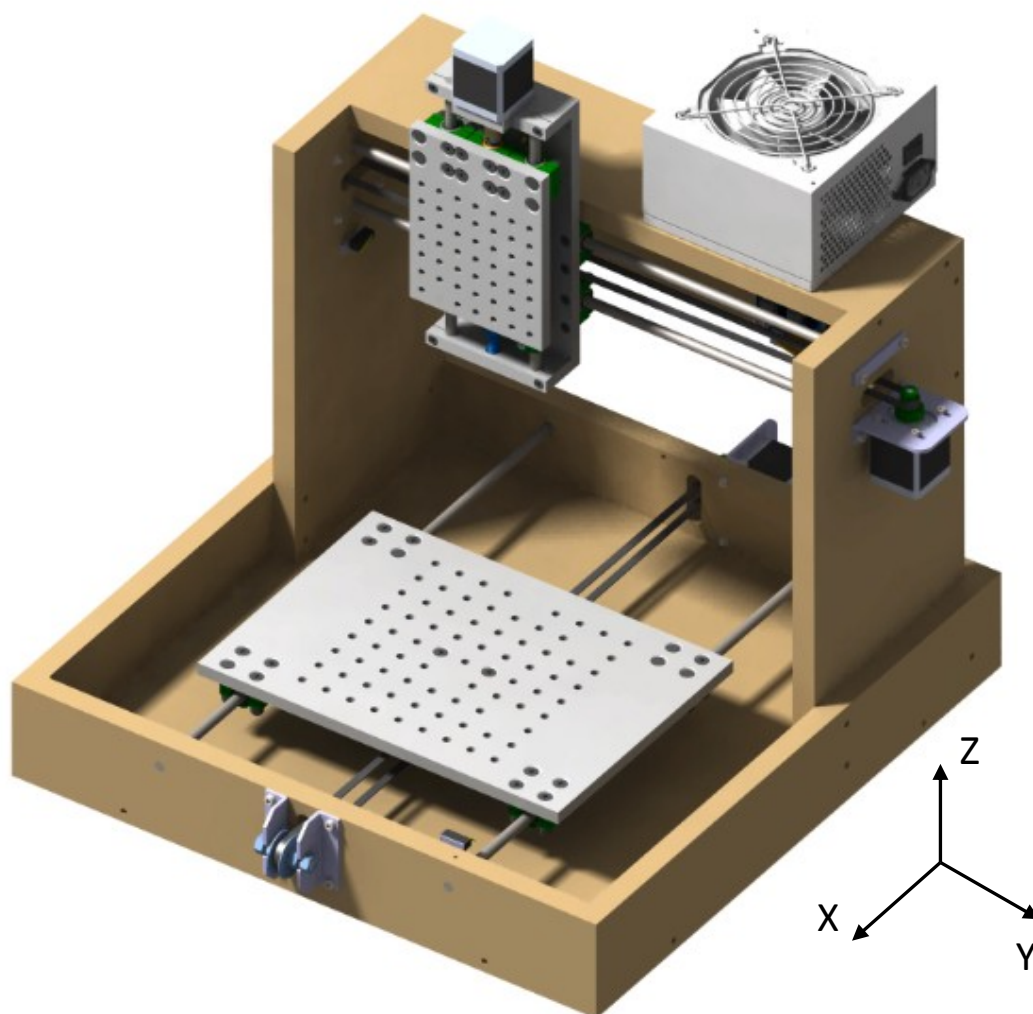


Obr. 38: Pohled na suport vertikální osy konstrukčního návrhu - VARIANTA I

Navržené parametry stroje - VARIANTA I	
Rozměry stroje (d x š x v)	800 x 500 x 400
Pracovní rozsah stroje (X, Y, Z)	500 x 350 x 150

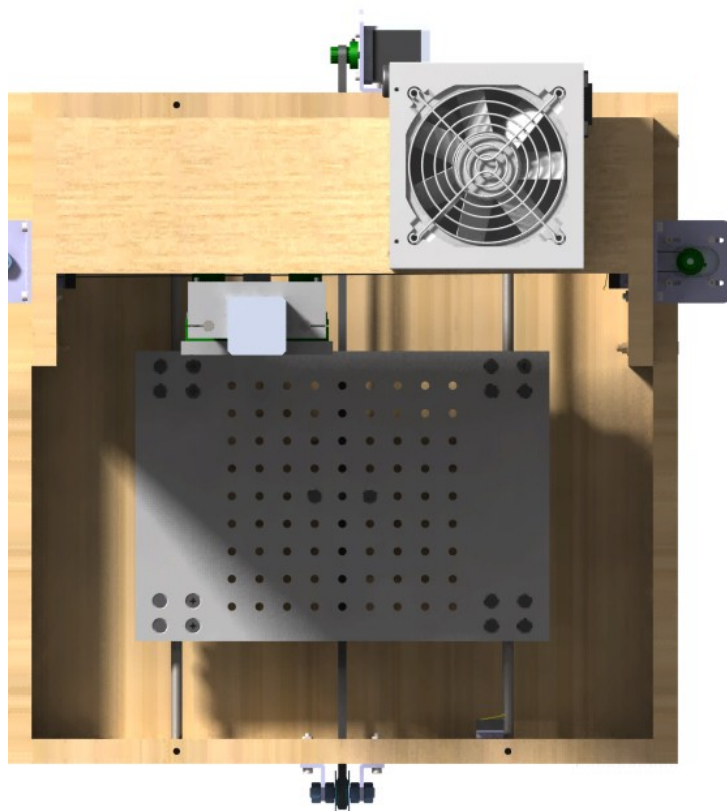
Tab. 10: Navržené parametry stroje - VARIANTA I

4.2. Varianta II.

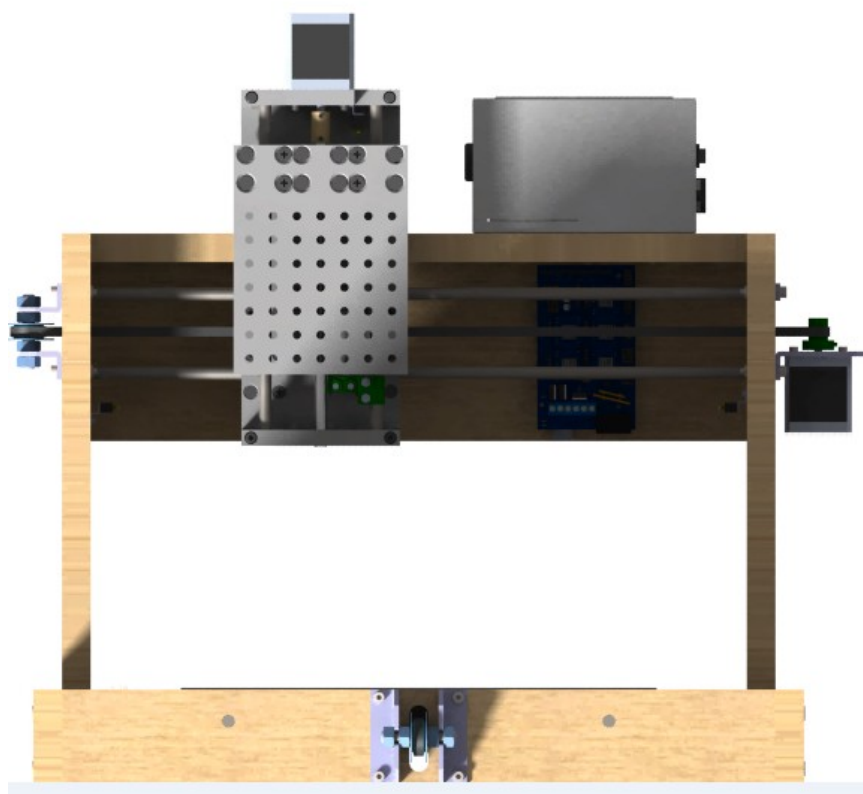


Obr. 39: Ukázka konstrukčního návrhu - VARIANTA II

Druhá varianta je konstrukčně řešena také jako portálový stroj s podélným pojezdem (osa X), viz obr. 39., ovšem jiného provedení než u první varianty, zde je pojezd kryt jen částečně pracovní deskou. Suport nad osou X je nepohyblivý a pojíždí naopak pracovní deska (osy X). Vedení pojezdů je také rozdělené, cylindrické. Jako pojezdy jsou také navrženy valivé lineární ložiska, pohybující se ale pouze po kalených a broušených tyčích o $\varnothing 8\text{mm}$ pro všechny osy. Pohony os jsou také realizovány třemi kusy stejných krokových motorů s přírubou NEMA 17 s krouticím momentem $0,5\text{Nm}$ a s převodem pomocí ozubeného kola a řemene pro příčnou a podélnou osu (osy X a Y), viz obr. 40 a 41.

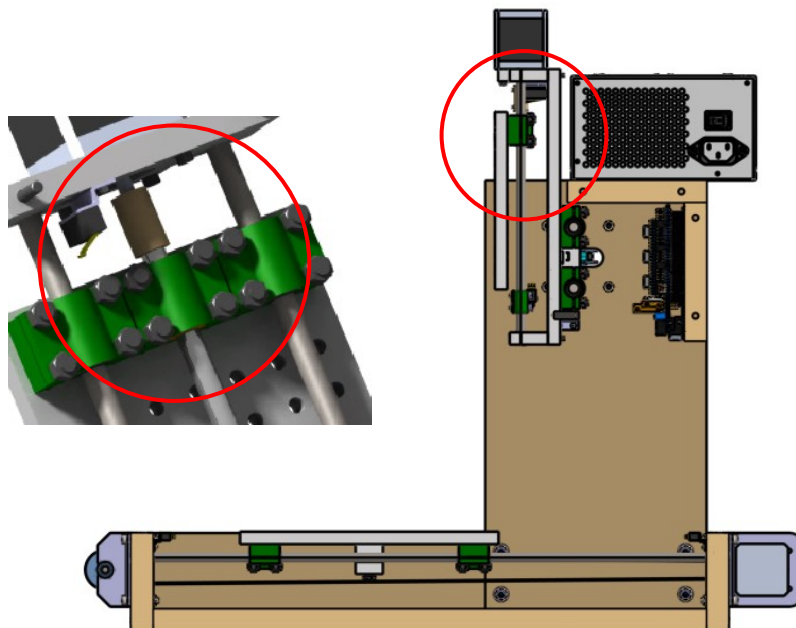


Obr. 40: Pohled shora na podélnou a osu - VARIANTA II



Obr. 41: Návrh řešení pohonu pro příčnou osu - VARIANTA II

Pro posuv vertikální osy (osa Z) jsem použil pozinkovanou závitovou tyč a bronzovou matici velikosti M8, viz obr. 42.



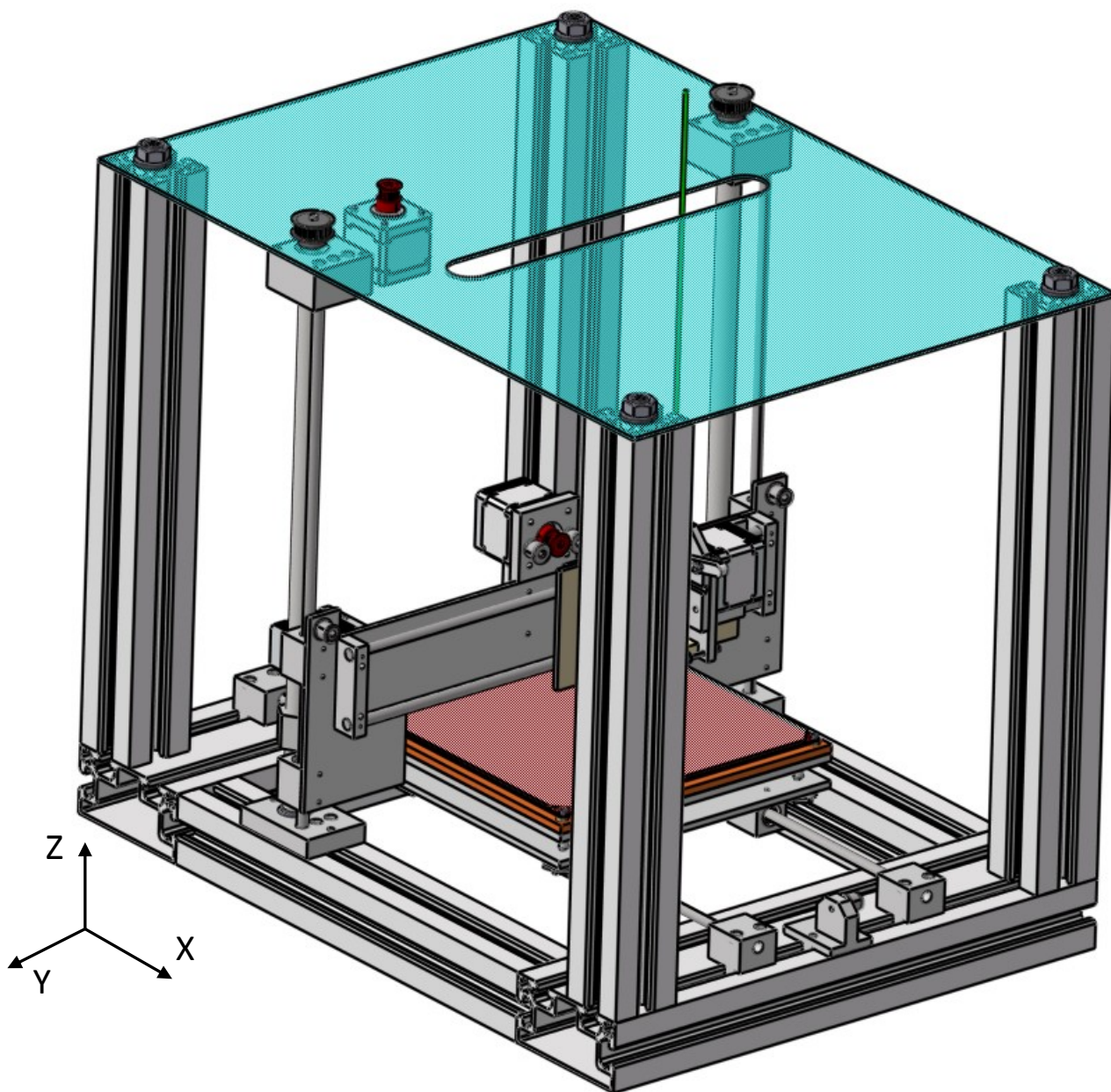
Obr. 42: Podélný řez a detail - VARIANTA II

Konstrukce CNC stroje této varianty je vyrobena ze surových MDF desek tloušťky 18 mm. Pracovní deska je z tvrzeného PVC 10 mm. Sestava je také smontována pouze šroubovými spoji. Konstrukce je zde dimenzovaná oproti předchozí variantě slaběji a je určena především pro 3D tisky. Možnost uchycení obráběcího, resp. gravírovacího vřetene je ale zachována, což by mělo umožnit frézování plastových, dřevěných a hliníkových dílů, s dostatečnou přesností pro "hobby" účely. Suport vertikální osy (osa Z) je opatřen perforovanou deskou s mnoha závitovými otvory M5, pro montáž pracovních technologií.

Navržené parametry stroje - VARIANTA II	
Rozměry stroje (d x š x v)	486 x 450 x 500
Pracovní rozsah stroje (X, Y, Z)	200 x 200 x 150

Tab. 11: Navržené parametry stroje - VARIANTA II

4.3. Varianta III.

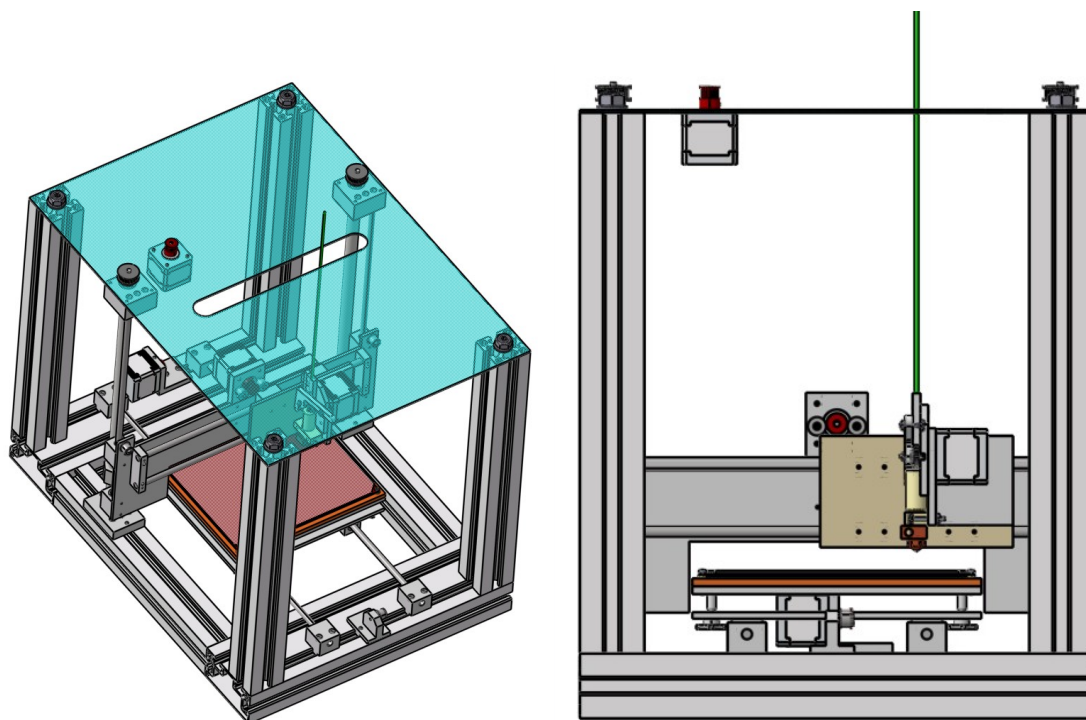


Obr. 43: Ukázka konstrukčního návrhu - VARIANTA III

Třetí varianta je konstrukčně řešena odlišně od předchozích variant. Konstrukčně je částečně řešena také jako portálový stroj s podélným pojezdem (osa X) částečně skrytým pod pracovní deskou jako u varianty II. Suport s tiskovou hlavou je také nepohyblivý a pojíždí pracovní stůl. Vedení pojezdů je také řešeno stejně jako u varianty II (valivé lineární ložiska LM8UU, pohybující se po hlazených tyčích o $\varnothing 8\text{mm}$ pro všechny osy).

Pohony os jsou však realizovány již čtyřmi kusy stejných krokových motorů s přírubou NEMA 17, s kroutícím momentem $0,5\text{Nm}$. Pro podélnou a příčnou osu

s převodem pomocí ozubeného kola a ozubeného řemene. Pro pohon posuvu vertikální osy jsem použil 2x závitovou tyč s bronzovou maticí M8, viz obr. 44.

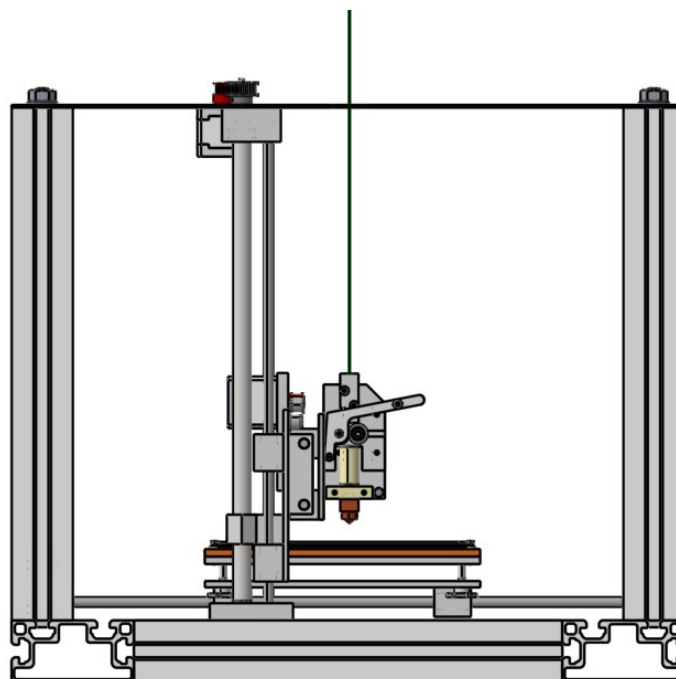


Obr. 44: Návrh řešení pohonu pro podélnou, příčnou a vertikální osu - VARIANTA III

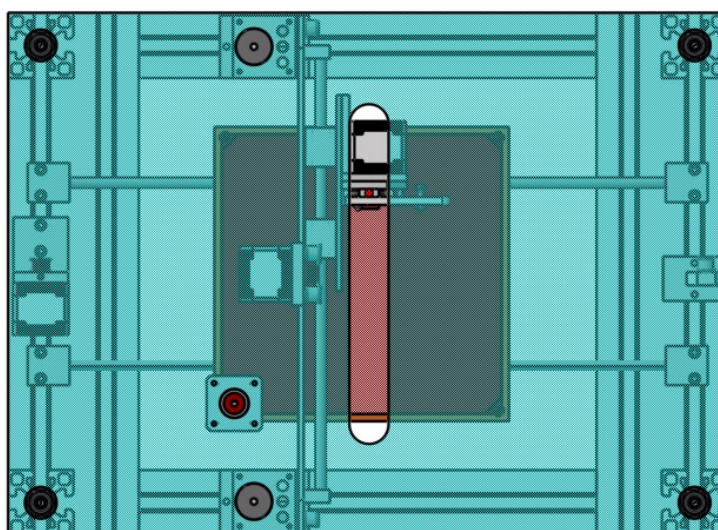
Konstrukce této varianty stroje je vyrobena z hliníkových profilů fy ITEM o velikostech 50x50 a 100x50. A opět smontováno pouze šroubovými spoji. Pracovní deska je zde dvojitá, jedna nosná spojená s ložisky pojezdu z překližky tloušťky 10 mm a druhá je pro možnost seřízení rovnoběžnosti, a slouží k přichycení vyhřívané podložky pro 3D tisku z překližky tloušťky 8 mm.

Konstrukce je zde dimenzovaná podobně jako v předchozí variantě především pro 3D tisk, ale s nižší nosností, kvůli dvojité pracovní desce. Možnost uchycení obráběcího, resp. gravírovacího vřetene je také zachována. Stejně jako technologické výrobní možnosti. Horší je však přístup pro manipulaci s výrobkem opatřeno funkčním (nosným) krytem z plexiskla, který je opatřen výřezem pro průchod plastového drátu pro 3D tisk, popř. pro vedení kabelů a hadic.

Suport vertikální osy (osa Z) je také opatřen deskou se závitovými otvory M5, pro výměnu za jinou pracovní technologii.



Obr. 45: Pohled s boku na konstrukční návrh - VARIANTA III



Obr. 46: Pohled shora na konstrukční návrh - VARIANTA III

Navržené parametry stroje - VARIANTA III	
Rozměry stroje (d x š x v)	540 x 400 x 470
Pracovní rozsah stroje (X, Y, Z)	200 x 200 x 200

Tab. 12: Navržené parametry stroje - VARIANTA III

5. Výběr optimální varianty

Pro zvolení optimální varianty bylo využito hodnotové analýzy [7]. Tato analýza spočívá ve srovnávání jednotlivých kritérií, která jsou volena dle požadavkového listu, viz Tab. 9. Z něho jsem vybral ta kritéria, která mají vliv na výběr optimálního CNC hobu stroje. Ty jsem následně přepracoval do tabulky Tab. 13.

Váha významnosti jednotlivých kritérií se určí metodou porovnávání v trojúhelníku párů, kdy se porovnávají vždy jen dvě kritéria. Druhý řádek v tabulce Tab. 15 obsahuje první hodnotící kritérium. Toto kritérium se porovná s dalšími kritérii, které se nacházejí v řádku pod ním. Toto se provede u všech kritérií. Významnější kritérium je označeno tučně (počet voleb: 1). V případě, že dvě kritéria mají stejnou významnost, jsou označeny obě tučně (počet voleb: 0,5). Váhu významnosti jsem vypočetl dle [7], kdy významnost kritérií jsem volil od 1 (nejnižší) po 2 (nejvyšší). Úroveň kritéria jsem bodoval 1-5 viz Tab. 16. Následně jsem provedl hodnocení variant a vyhodnocení optimální varianty.

5.1. Hodnocená kritéria

Označení kritéria	Název kritéria	Popis kritéria
K1	Pracovní rozsah stroje	Co největší, min. však X, Y, Z = 200, 200, 150 mm
K2	Pracovní technologie	Co nejvyšší počet (min. 3), podmínka: 3D tisk, frézování
K3	Přesnost stroje	Stejná nebo lepší než 3D tiskárny, ze které jsou použity pohony a řízení
K4	Možnosti frézování	Co nejširší možnost zpracovávaných materiálů
K5	Snadnost obsluhy a údržby	Co nejsnazší montáž/výměna technologií, obsluhy a údržby
K6	Cena stroje	Co nejnižší

Tab. 13: Tabulka s hodnocených kritérií

5.2. Určení významnosti kritérií

Trojúhelníková metoda porovnávání párů								
Porovnávané páry kritérií					Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti	
K1	K1	K1	K1	K1	1	3	1,25	
K2	K3	K4	K5	K6				
	K2	K2	K2	K2	3,5	6	1,88	
	K3	K4	K5	K6				
		K3	K3	K3	1	4-5	1,25	
		K4	K5	K6				
			K4	K4	2,5	2	1,63	
			K5	K6				
				K5	3	4-5	1,75	
				K6	4,5	1	2,13	

Tab. 15: Tabulka s porovnávanými páry kritérií

5.3. Bodová stupnice hodnocení

K hodnocení jednotlivých variant je zavedená bodová stupnice.

Úroveň kritéria	Počet bodů
Vysoká	5
Dobrá	4
Průměrná	3
Nízká	2
Nevyhovující	1

Tab. 16: Tabulka s bodovou stupnicí hodnocení kritérií

5.4. Vážený index kritérií a zhodnocení

Kritérium	Bodová hodnota úrovně kritéria - Varianta I	Váha významnosti	Index změny kritéria
k1	4	1,25	5,00
k2	4	1,88	7,50
k3	5	1,25	6,25
k4	5	1,63	8,13
k5	4	1,75	7,00
k6	1	2,13	2,13
Σ			36,00

Tab. 17: Tabulka s hodnocením a výběru optimální varianty - VARIANTA I

Kritérium	Bodová hodnota úrovně kritéria - Varianta II	Váha významnosti	Index změny kritéria
k1	3	1,25	3,75
k2	4	1,88	7,50
k3	4	1,25	5,00
k4	3	1,63	4,88
k5	5	1,75	8,75
k6	4	2,13	8,50
Σ			38,38

Tab. 18: Tabulka s hodnocením a výběru optimální varianty - VARIANTA II

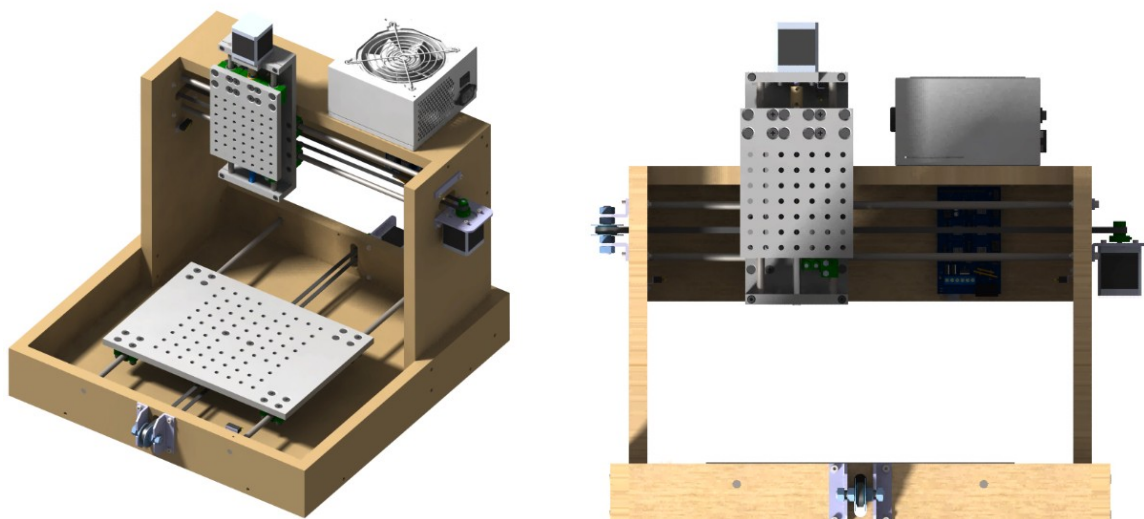
Kritérium	Bodová hodnota úrovně kritéria - Varianta III	Váha významnosti	Index změny kritéria
k1	4	1,25	5,00
k2	3	1,88	5,63
k3	4	1,25	5,00
k4	2	1,63	3,25
k5	3	1,75	5,25
k6	4	2,13	8,50
Σ			32,63

Tab. 19: Tabulka s hodnocením a výběru optimální varianty - VARIANTA III

Na základě hodnotové analýzy volím k detailnímu rozpracování **variantu II**.

6. Detailní rozpracování optimální varianty

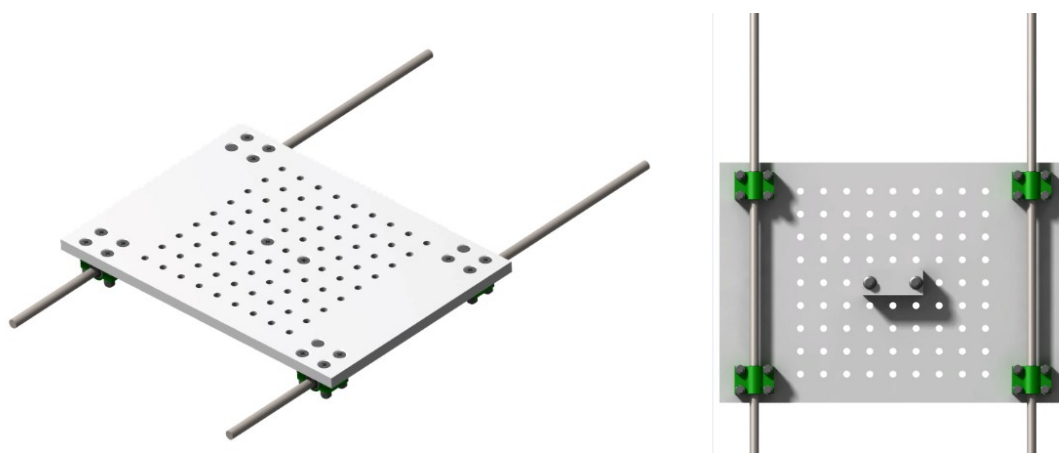
Dalším krokem v této práci bylo detailní rozpracování optimální varianty návrhu. Propracoval jsem detaily konstrukce původního 3D návrhu, osadil stroj řídicí elektronikou a zdrojem, viz obr. 47 - 54.



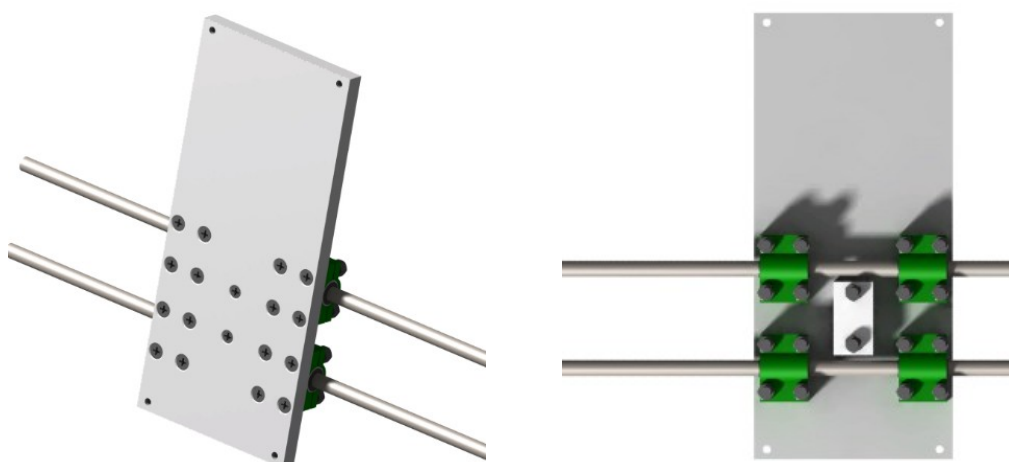
Obr. 47: Pohled detailně rozpracovanou optimální variantu návrhu



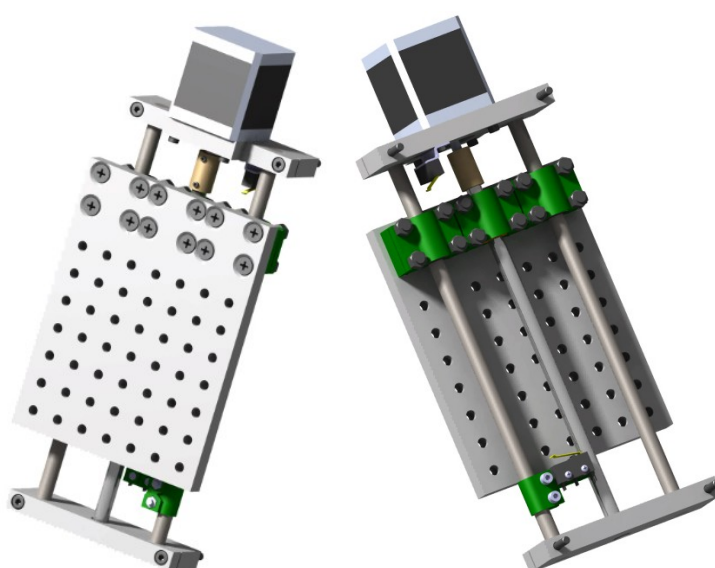
Obr. 48: Pohled rám stroje a foto navrženého materiálu k jeho výrobě



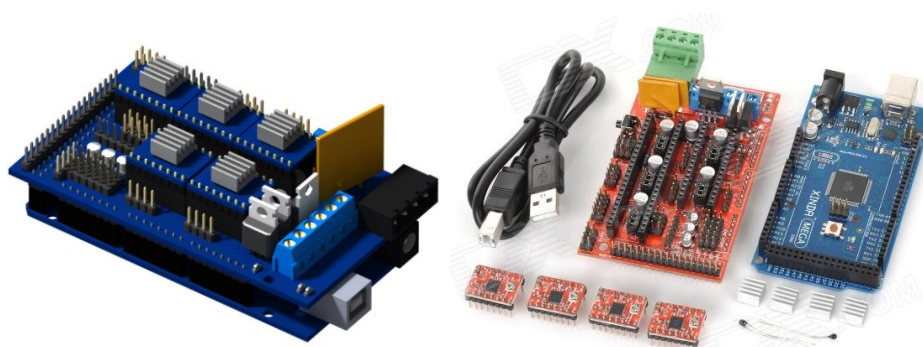
Obr. 49: Dva pohledy na pojezd osy X



Obr. 50: Dva pohledy na pojezd osy Y



Obr. 51: Dva pohledy na sestavu pojezdu a pohonu osy Z

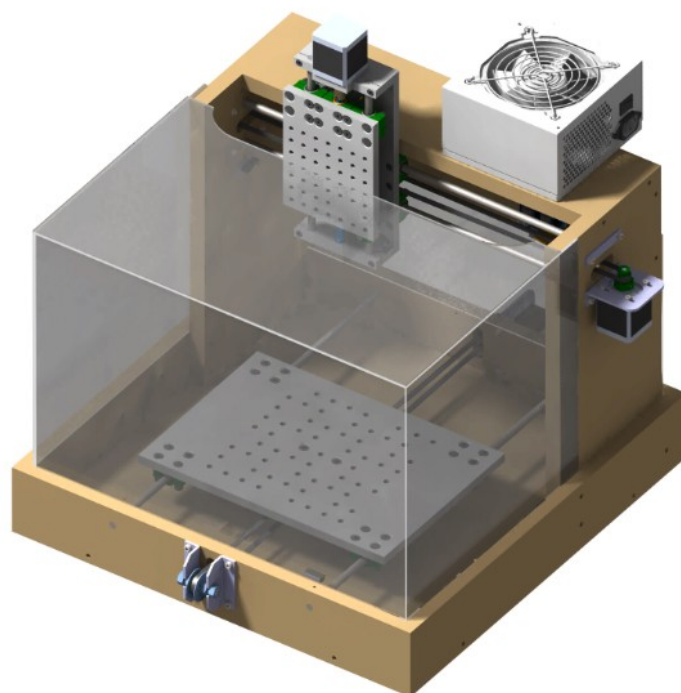


Obr. 52: Zobrazení modelu a skutečné řídicí elektroniky



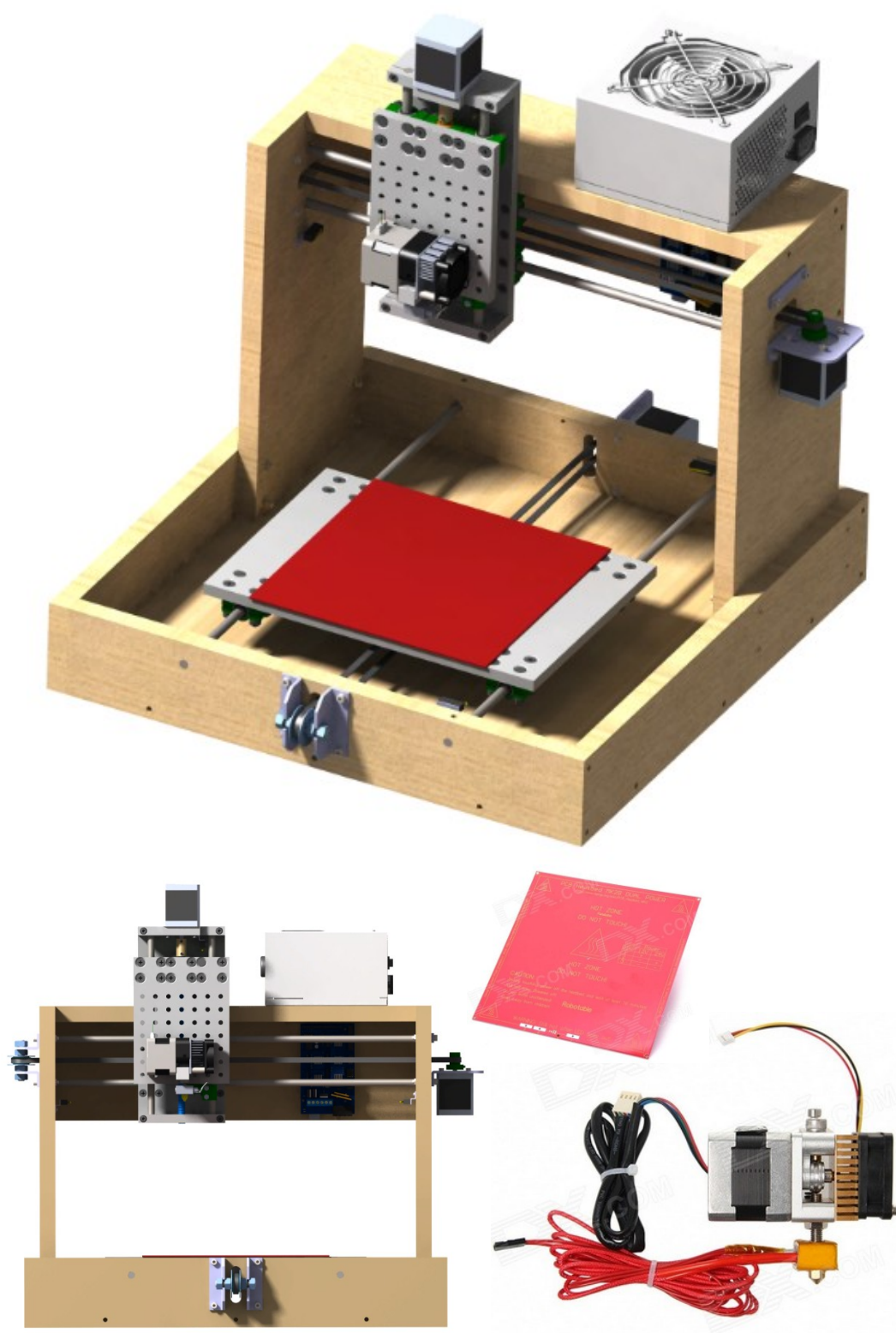
Obr. 53: Zobrazení modelu a reálného zdroje proudu

Vypracoval jsem návrh krytování stroje z plexiskla tl. 3mm, viz obr. 54, pro zabránění úniku tepla při 3D tisku, nebo unikání nečistot do okolí při obrábění.

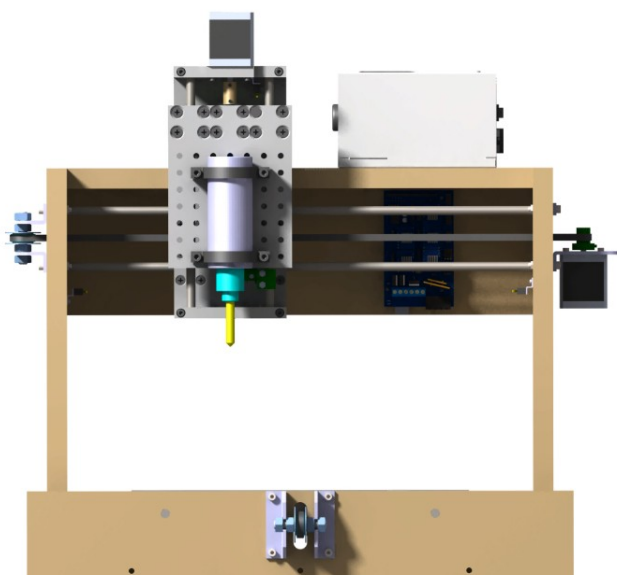
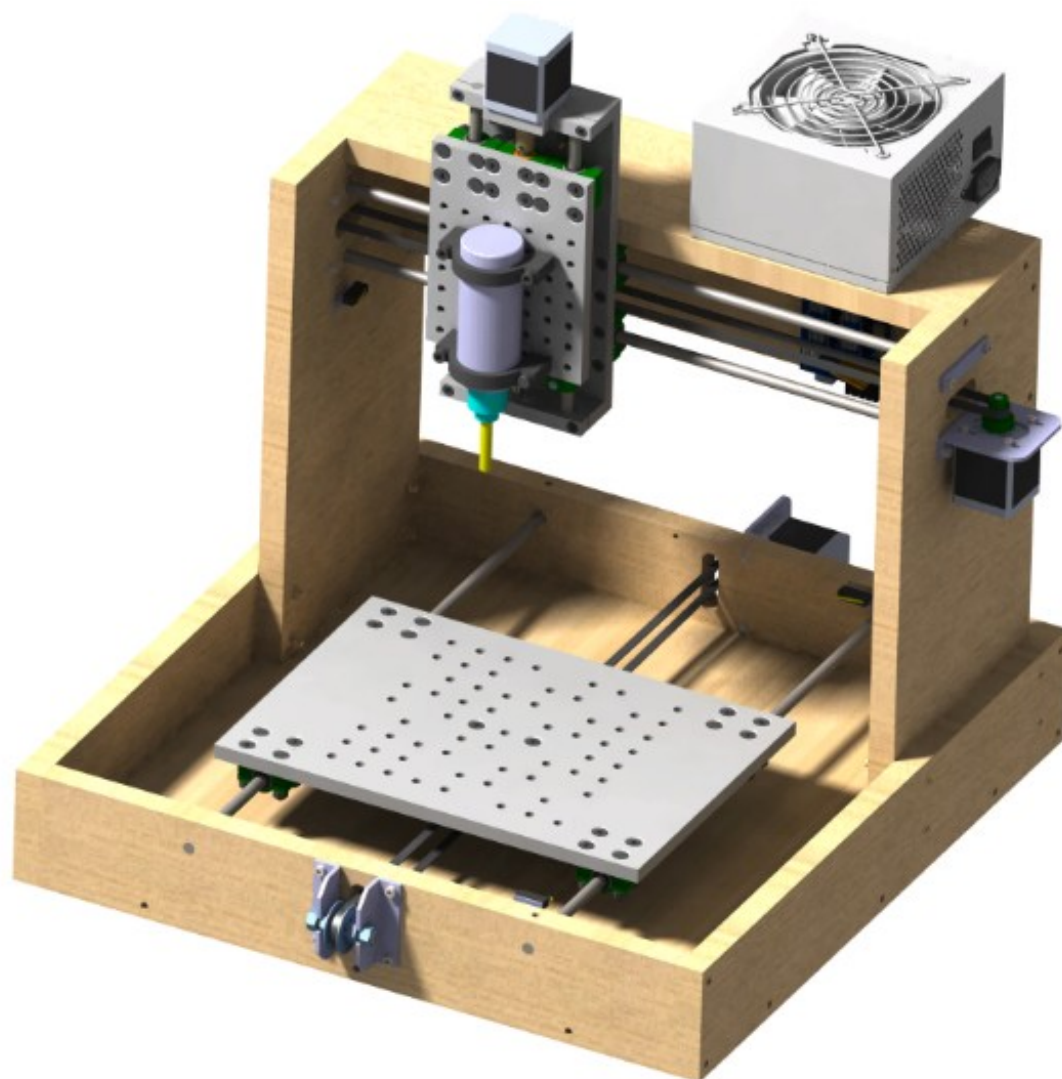


Obr. 54: Pohled na zakrytovaný CNC stroj

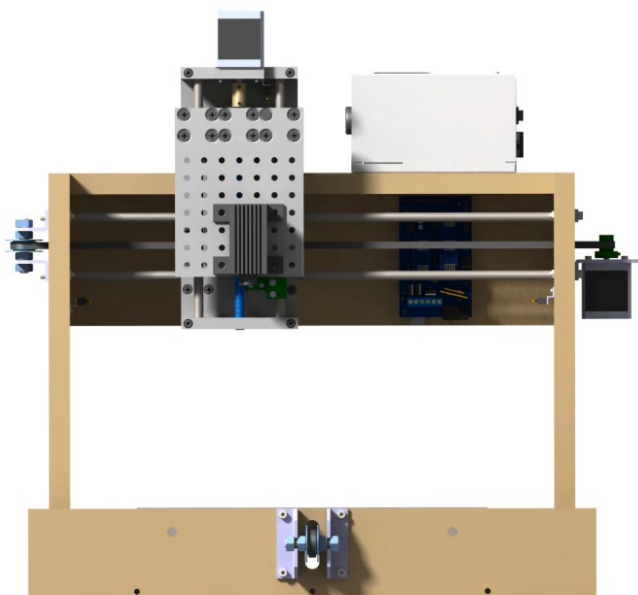
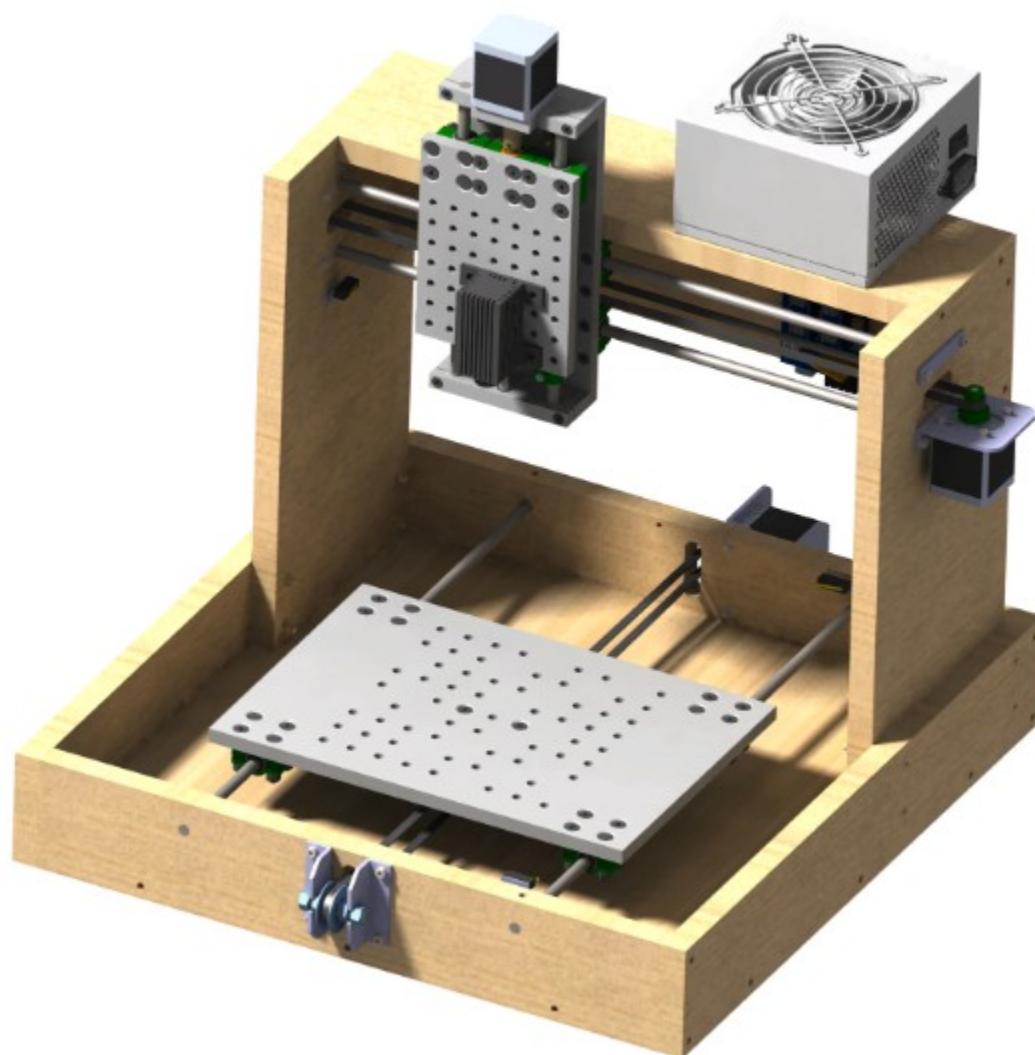
Také jsem provedl ověření zástavby třemi pracovními technologiemi: 3D tiskovou hlavou a vyhřívanou podložkou, mikrofrézovacím vřetenem a gravírovacím laserovým modulem, viz obr. 55 - 57.



Obr. 55: Vyobrazení varianty CNC stroje s technologií 3D tisku



Obr. 56: Vyobrazení varianty CNC stroje s technologií obrábění



Obr. 57: Vyobrazení varianty CNC stroje s laserovým modulem

7. Stanovení parametrů a zatížení stroje

V této kapitole se budu zabývat výpočtem parametrů určující přesnost stroje a stanovením maximálních zatěžujících hodnot stroje. Stanovení vstupních parametrů je důležité zejména pro programování obrábění, neboť u obrábění předpokládám významnější zatížení konstrukce stroje ovlivňující stálost technologických (výrobních) parametrů stroje, např. od hmotnosti obrobku a řezných síl od nástroje působící na obrobek.

7.1. Stanovení parametrů - přesnosti posuvů stroje

Výpočet délky posuvu při jednom kroku KM - tedy přesnosti polohování stroje. Rozlišení uvažovaného KM je 200 kroků na otáčku, nebo-li $1,8^\circ$ na úhlový krok. Při převodu rotačního pohybu na lineární pohyb pomocí ozubeného řemenového převodu, je potřeba znát střední (nosný) průměr řemenice je v mém případě: $d_{r2} = 12,7$ mm. Minimální délku posuvu L_{XY} v osách X a Y připadající na jeden úhlový krok vypočtu ze vzorce na výpočet obvodu kruhu podělený počtem kroků.

Výpočet délky L_{XY} posuvu v osách X a Y:

$$o = \pi \cdot d_{r2} = \pi \cdot 12,7 = 39,89 \text{ mm} \Rightarrow L_{xy} = 39,89 \div 200 = \underline{0,199 \text{ mm}} \quad (1)$$

A v ose Z se min. posuv při jednom kroku L_Z vypočte z normálního (hrubého) stoupání (rozteč) P závitu M8, které dle(ST) je 1,25mm na otáčku závitu.

Výpočet délky L_Z posuvu v ose Z ze stoupání závitu:

$$L_Z = \frac{P}{200} = \frac{1,25}{200} = \underline{0,00625 \text{ mm}} \quad (2)$$

7.2. Stanovení parametrů – sil působících od motorů

Pro parametry obrábění potřebuji znát síly od KM působící ve všech osách. Ty vypočtu z udávaného kroutícího momentu M_k , resp. z statického momentu, který je při jmenovitém proudu v obou fázích bipolárního zapojení 0,5Nm. [23]

Sílu od KM působící v osách X a Y vypočtu jednoduše z upraveného vzorce z momentové věty o síle, zde neznámá síla $F_{KM_{xy}}$, působící na rameni, zde $r_{r2} = 6,35 \text{ mm} = 0,00635\text{m}$, poloměr řemenice.

Výpočet síly $F_{KM_{xy}}$ od KM převedených do lineárních směrů os X a Y:

$$M_k = F_{KM_{xy}} \cdot r_{r2} \Rightarrow F_{KM_{xy}} = \frac{M_k}{r_{r2}} = \frac{0,5}{0,00635} = \underline{78,74 \text{ N}} \quad (3)$$

Výpočet síly F_{KM_z} od KM působící v ose Z již tak jednoduchý není, lze jej provést např. dle upraveného vzorce dle [9]. K výpočtům potřebujeme nejprve znát, nebo vypočítat a poté dosadit následující hodnoty:

- Střední průměr hrubého stoupání závitu M8 $d_{z2} = 7,1 \text{ mm} = 0,0071\text{m} \dots$ [8]
- Úhel stoupání normálního (hrubého) závitu M8 $\psi \dots$ viz výpočet níže.
- Vrcholový úhel pro metrický závit $\alpha = 60^\circ \dots$ [8]
- Součinitel smykového tření ocel-bronz $f_z = 0,15 \dots$ [8]
- Redukovaný třecí úhel $\varphi' \dots$ viz výpočet níže.
- Vodorovnou složka reakce třecího odporu v závitu $F_{Tz} \dots$ viz výpočet níže.
- Moment třecího odporu kladený závitem matice $M_{Tz} = M_k \dots$ [9]

Výpočet úhlu stoupání závitu šroubovice:

$$\psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi d_{z2}}\right) = \arctg\left(\frac{1,25}{\pi 7,1}\right) = 3,2^\circ \quad (4)$$

Výpočet třecího úhlu:

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) = \arctg\left(\frac{0,15}{\cos \frac{60^\circ}{2}}\right) = 9,8^\circ \quad (5)$$

Výpočet třecího odporu:

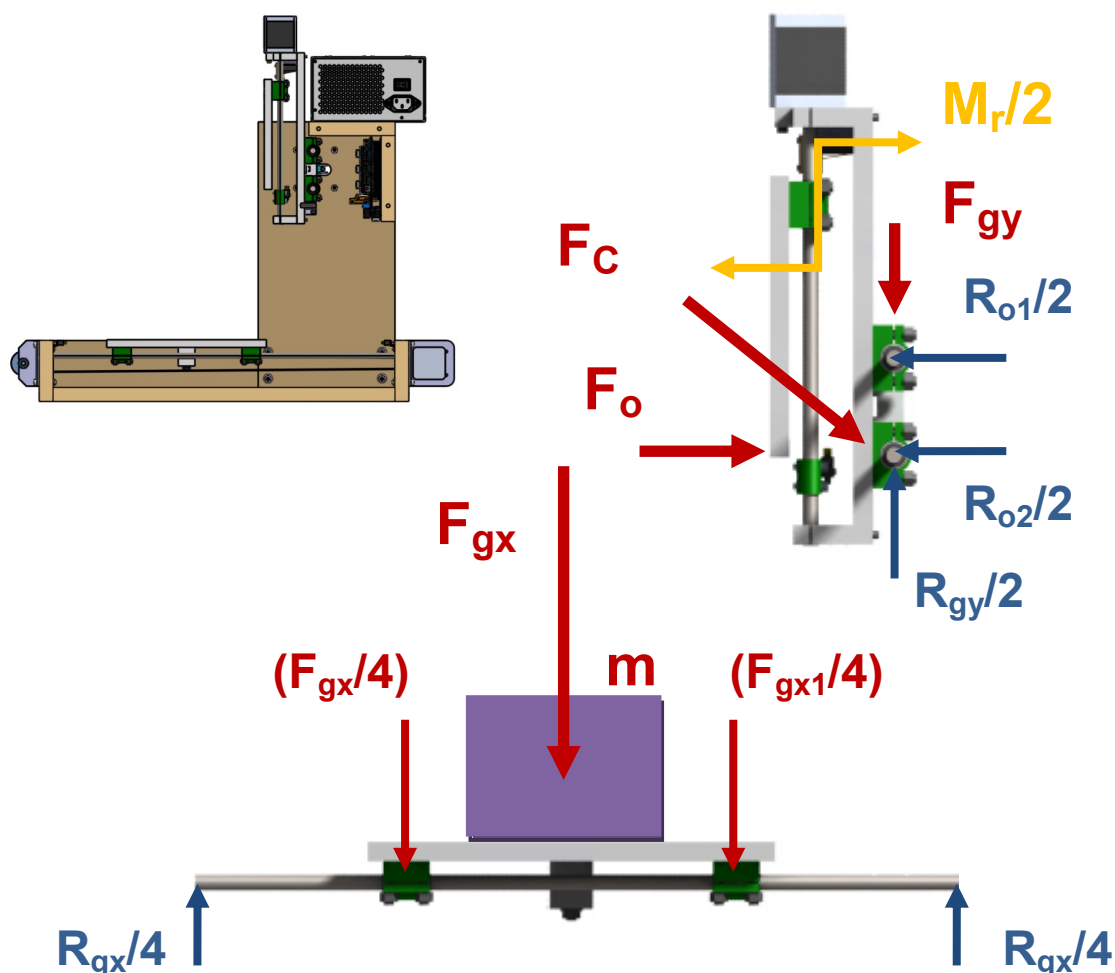
$$M_{Tz} = M_k = F_{Tz} \cdot \frac{d_{z2}}{2} \Rightarrow F_{Tz} = \frac{2 \cdot M_k}{d_{z2}} = \frac{1 \cdot 0,5}{0,0071} = 141 \text{ N} \quad (6)$$

Výpočet síly F_{KMz} od KM převedené do lineárního směru osy Z:

$$F_{Tz} = F_{KMz} \cdot \operatorname{tg} (\psi + \varphi') \Rightarrow F_{KMz} = \frac{F_{Tz}}{\operatorname{tg} (\psi + \varphi')} = \frac{141}{\operatorname{tg} (3,2^\circ + 9,8^\circ)} = \underline{611 \text{ N}} \quad (7)$$

7.3. Rozbor zatížení konstrukce stroje

Nejprve jsem provedl rozbor zatěžujících síly na lineární ložiska a reakcí v uložení vodících tyčí, viz obr. 58, na základě které jsem rozhodl, že nejkritičtější oblasti konstrukce stroje vzhledem k požadavku na obrábění, je sestava pojezdu pracovní desky v ose X, která je v obrázku rozboru zatěžována silou gravitační F_{gx} od hmotnosti předpokládaného obrobku.

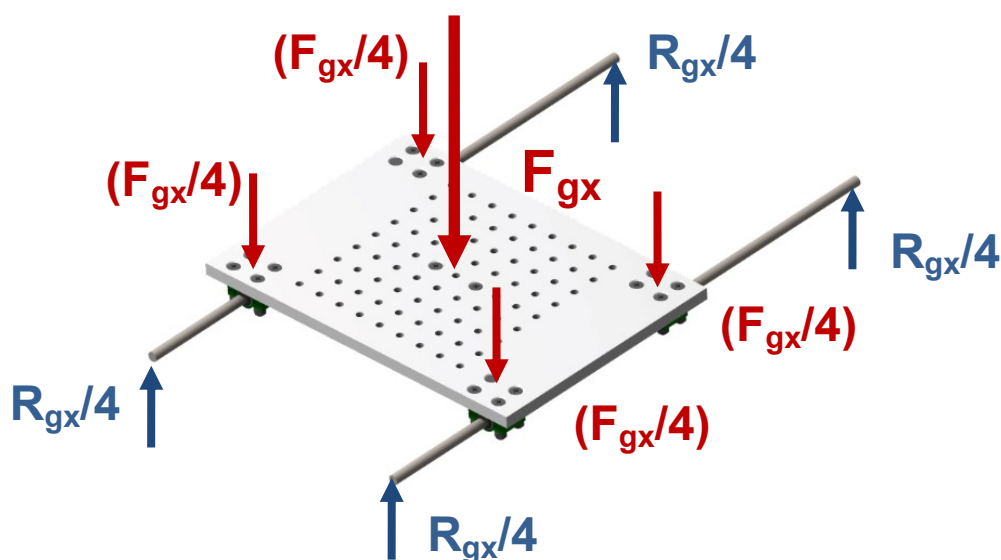


Obr. 58: Zobrazení rozboru zatěžujících síly na celý CNC stroj

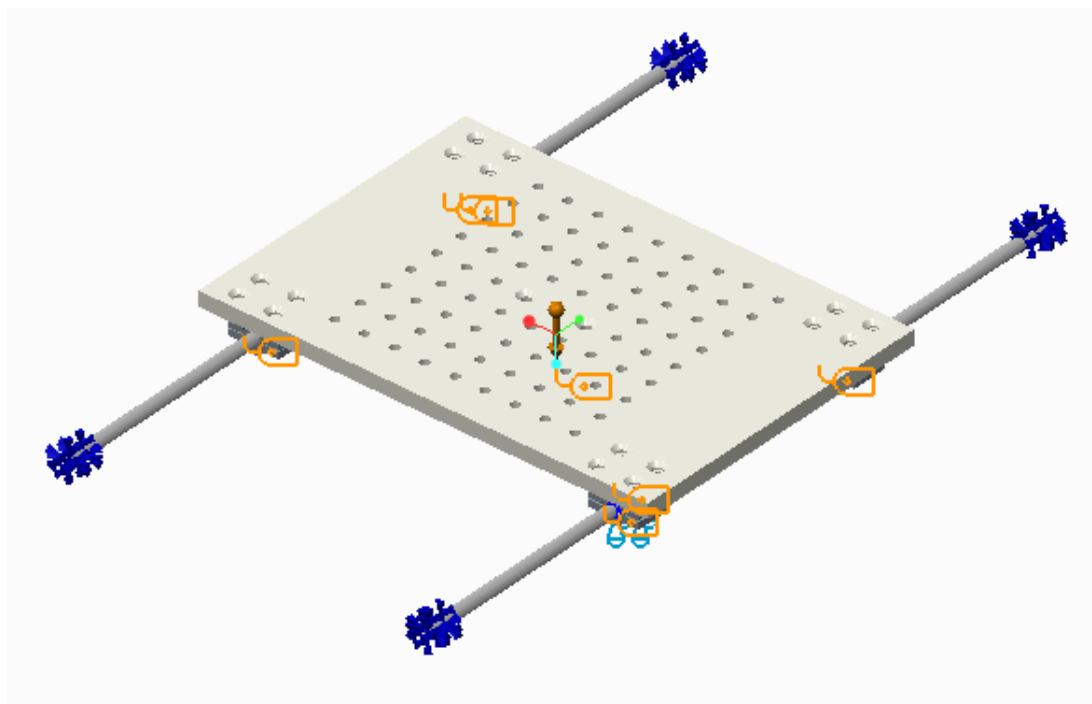
Proto jsem se rozhodl zjistit jakou silou F_{gx} , resp. hmotností m mohu zatížit pracovní desku stroje do vzniku maximální povolené deformaci stroje – myšleno maximálního dovoleného průhybu, který jsem stanovil na 0,2mm. Tato hodnota vychází z vypočtené přesnosti polohování stroje v osách X a Y, viz výpočet výše (1). Celkovou sílu F_C působící na vodící tyče pojezdu osy Y zjišťovat nebudu, přepokládám jí menší než sílu F_{gx} , kterou budu pokládat jako referenční i pro celkové přípustné zatížení vodících tyčí pojezdu osy Y. A toto bude také výchozí parametr pro definování okrajových podmínek programů na obrábění.

7.4. Pevnostní kontrola – výpočet únosnosti pracovní desky

Pevnostní analýzu, resp. nalezení velikosti síly F_{gx} při zadaném maximálním průhybu 0,2mm jsem provedl v modulu „Simulate“ CAD systému CREO Parametric 2.0[®], v kterém jsem na základě rozboru zatěžujících síly, viz obr. 59, nejprve nastavil okrajové podmínky výpočtu, viz obr. 60 a zadal první volbu síly pro výpočet průhybu. Provedl jsem několik iteračních výpočtů, se změnou vstupní zatěžující síly, než jsem našel velikost průhybu nejvíce se přibližující zadání. Shodou okolností činí tato síla krásných rovných 100 N., viz obr. 61. Přesná velikost průhybu při této síle mi vyšla 0,1992 mm, viz obr. 62.



Obr. 59: Zobrazení zatěžujících síly a reakcí sestavy pojezdu pracovní desky osy X



Obr. 60: Zobrazení okrajových podmínek výpočtu

Force/Moment Load

Name: Load1

Member of Set: LoadSet1

References: Surfaces

Surfaces: ☒ Individual ☐ Boundary ☐ Intent

Surface: Y-PRACOVNI_DESKA_LIBOVOLN_X2_00

Surface Sets...

Properties

Coordinate System: ☒ World ☐ Selected

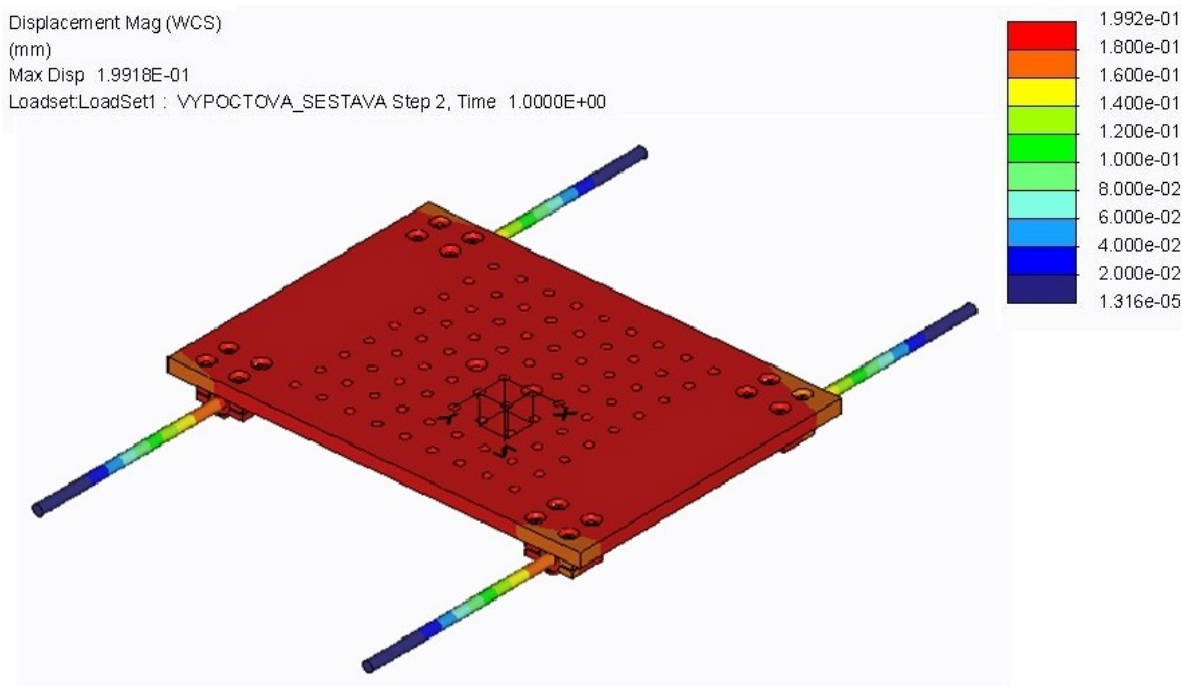
WCS

Advanced >>

Force		Moment	
Components		Components	
X	0	X	0
Y	0	Y	0
Z	100	Z	0
N			mm^2 kg / sec^2

OK Preview Cancel

Obr. 61: Tabulka zadávání parametrů, vyznačeno zadávání velikosti působící síly



Obr. 62: Zobrazení výsledku výpočtu

7.5. Zhodnocení pevnostní analýzy a nosnosti stroje

Pevnostní analýzou zjištěné výsledky síly $F_{gx} = 100 \text{ N}$ při maximálním dovoleném průhybu 0,2 mm (0,1992 mm) shledávám jako velmi dobré, neboť dovolují stroj, resp. pracovní desku pojezdu, zatížit obrobkem až o hmotnosti $m = 10\text{kg}$.

8. Celkové zhodnocení konstrukce a stanovení nákladů

8.1. Zhodnocení konstrukce CNC stroje

Konstrukci rámu i celého stroje shledávám jako robustní a jednoduchou, a tudíž také i vzhledem použitým materiálům i levnou.

Konstrukce rámu i celková koncepce stroje také umožňuje poměrně snadné zvýšení výkonostních parametrů stroje pro potřeby obrábění, nahrazením vodících tyčí, lineárních ložisek a jejich uložení, za vyšší rozměrovou řadu.

Například změnou zde užitou rozměrovou řadu o funkčních rozměrech - průměrů 8, lze nahradit až rozměrovou řadou o velikosti funkčních rozměrů 12mm.

Možnost výměny KM s přírubou NEMA 17 za KM s přírubou NEMA 17 s vyšším výkonem lze provést prostou záměnou. Použití ještě výkonnějších KM vyšší výkonnostní řady, s jinou přírubou je také možná, ale již se změnou držáku KM.

Rovněž možnost výměny technologií a přístup k jejich výměně shledávám také jako velmi dobrý. Výhodná je i možnost zakrytování stroje.

8.2. Stanovení nákladů na pořízení CNC stroje

Cenová rozvaha nákladů na pořízení stroje			
Název položky, obj. kód	Odkaz na položku, popis	Cena položky	Poznámka
MDF desky tl. 18mm 0,57 m ² ; kód: 118	www.aigos.cz	621 Kč	Pouze materiál
Spojovací materiál (celkem)	www.haspl.cz , www.ferona.cz	500 Kč	Odhad
Tvrzené PVC desky (MEDUR)	www.hansanet.cz	200 Kč	Pouze materiál
Díly z 3D tisku (0,4 kg ABS), kód: 138608	www.czc.cz	254 Kč	Pouze materiál
Ložiska LM8UU: 6 ks	www.cncshop.cz	330 Kč	E-shop
Ložiska 608 2RS: 2 ks	www.cncshop.cz	20 Kč	E-shop
Vodící tyče W08: 2,322 m	www.cncshop.cz	604 Kč	E-shop
Plechové díly tl. 3mm(celkem)	www.ferona.cz -mat. + úprava-obrábění	500 Kč	Odhad
Ozubený řemen 06T5: 2,1 m	www.tyma.cz	439 Kč	E-shop
KM NEMA 17: 4 ks, SKU: 339617	www.dx.com	1 799 Kč	E-shop
Spojovací článek	www.ferona.cz -mat. + úprava-obrábění	250 Kč	Odhad
Bronzová matice	www.ferona.cz -mat. + úprava-obrábění	250 Kč	Odhad
Závitová tyč - upravená	www.haspl.cz , www.ferona.cz (+ úprava)	150 Kč	Odhad
Koncové snímače, SKU: 118181	www.dx.com	17 Kč	E-shop
Sestava elektroniky, SKU: 312870	www.dx.com	1 106 Kč	E-shop
Zdroj PS400, Kód: 9302966	www.alfa.cz	520 Kč	E-shop
Kabeláž	www.gme.cz	340 Kč	Odhad

Celkem za CNC stroj v základu:	7 900 Kč
---------------------------------------	-----------------

+ Cena za volitelné položky a technologie			
Sestava krytu	www.plexisklo.eu	350 Kč	Pouze materiál
Výbava pro 3D tisk	www.dx.com	1 690 Kč	E-shop
Výbava pro mikrofrézování	www.dx.com	695 Kč	E-shop
Výbava pro laserové gravírování	www.dx.com	1 759 Kč	E-shop

Tab. 20: Tabulka s cenovou rozvahou nákladů na pořízení CNC stroje

Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval konstrukčním návrhem malého hoby CNC stroje portálového typu využitelného pro možnost osazení více typy výrobních technologií.

V úvodu práce formou rešerše, seznamuji čtenáře s malými CNC stroji a s možnostmi jejich pořízení. Dále jsem provedl detailní analýz komponentů používaných v konstrukci malých CNC strojů a zejména 3D tiskáren.

V další části práce se věnuji stanovením požadavků na takovýto hoby CNC stroj. Zpracoval jsem tři konstrukční návrhy a z nich pak pomocí hodnotové analýzy vybral optimální variantu. Vybranou optimální variantu návrhu jsem podrobil výpočtům, pro stanovení zatěžujících sil, při zachování předem definovaných technologických parametrů stroje.

Při navrhování stroje jsem se pokusil o minimalizaci ceny. Kdy jsem se snažil navrhnout tento „univerzální“ CNC stroj tak, aby se v jeho konstrukci mohli uplatnit pohony a řízení z 3D tiskárny nejlevnějšího typu na trhu, z 3D tiskárny RepRap, se kterou mám již četné zkušenosti, neboť jednu vlastním. Často jsem při práci s tiskárnou přemýšlel jak jí vylepšit a učinit více hodnotnou. A nyní se mi díky diplomové práci podařilo své myšlenky a nápady dotáhnout do předrealizační fáze.

Provedl jsem analýzu a výpočty technologických parametrů stroje. Vypočetl jsem délku kroku v osách X a Y na 0,199mm, z čehož jsem určil přesnost polohování v osách X a Y do $\pm 0,2\text{mm}$. V ose Z jsem výpočtem z délky kroku 0,00625mm stanovil přesnost polohování na $\pm 0,007\text{mm}$. Dále jsem vypočetl sílu od KM působící ve směru os X a Y, která činí: 78,74 N a ve směru osy Z vyšla: 611 N.

Také jsem provedl v modulu „Simulate“ CAD systému CREO Parametric 2.0[®], výpočet maximální zatěžující síly na pracovní desku pojezdu osy X do přípustného průhybu. Výsledek výpočtu zatížení 100 N při maximálním dovoleném průhybu 0,2 mm (0,1992 mm) shledávám jako velmi dobrý, neboť dovolují stroj, resp. pracovní desku pojezdu, zatížit obrobkem až o hmotnosti 10kg.

V závěru práce jsem provedl zhodnocení dosažených výsledků konstrukčního návrhu a nákladů na pořízení stroje. Konstrukci rámu i celého stroje shledávám jako robustní a jednoduchou, a tudíž také i vzhledem použitým materiálům i levnou. Konstrukce rámu i celková koncepce stroje také umožňuje poměrně snadné zvýšení výkonnostních parametrů

stroje pro potřeby obrábění, nahrazením vodících tyčí, lineárních ložisek a jejich uložení, za vyšší rozměrovou řadu. Rovněž možnost výměny technologií a přístup k jejich výměně shledávám také jako velmi dobrý. Výhodná je i možnost zakrytování stroje. Nakonec jsem zpracoval cenovou rozvahu nákladů na pořízení zcela nového hoby CNC stroje. Cena za pořízení nového CNC stroje mi vyšla na velice příznivých 7 900 Kč.

Vypracoval jsem kompletní 3D dokumentaci pro realizaci a 2D výkresovou dokumentaci ve vedoucím stanoveném rozsahu.

V diplomové práci se mi podařilo provést vše, tak jak jsem zamýšlel. Proto věřím, že se mi podařilo, navrhnou technicky ideální a především cenově dostupný hoby CNC stroj, vhodný pro většinu kutilů a modelářů.

Použitá literatura a zdroje

- [1] *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. [online] [cit. 2015-05-04]. Dostupné z WWW: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>
- [2] *ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [3] *ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] SKAŘUPA, J. *Kreativita a inovační myšlení v konstruování*. [online] 1. vyd. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. [cit. 2015-05-04]. 230 s. ISBN 978-80-248-1717-0. Dostupné z WWW: <http://robot.vsb.cz/files/resources/kreativita_a_inovace.pdf>
- [6] *VUT Brno Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky*. Studijní opory. [online] [cit. 2015-05-04] Dostupné z WWW: < http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/?page_id=23 >
- [7] SKAŘUPA, J. *Metodika konstruování*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 1993. 158 s. ISBN 80-7078-167-X.
- [8] Leinveber J., Vávra P.: *Strojnické tabulky*, ALBRA, Úvaly, 2003, 872 s., ISBN 80-86490-74-2
- [9] Kaláb K.: *Konstrukční návrh a výpočet ručního šroubového zvedáku*. Vysokoškolská příručka VŠB-TU Ostrava, 2009.
- [10] *ČSN ISO 5966 Dokumentace. Formální úprava vědeckých a technických zpráv*. Praha: Český normalizační institut, leden 1996. 31 s.
- [11] *ČSN ISO 7144 Dokumentace. Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha: Český normalizační institut, březen 1997. 21 s.
- [12] *ČSN ISO 31-0 Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 1994. 24 s.
- [13] *Vydavatelství Nová média, s. r. o. — 3D-tisk.cz* [online]. [cit. 2015-05-04]. 3D tisk. Dostupný z WWW: < <http://www.3d-tisk.cz> >.

[14] wikipedia.org [online]. [cit. 2015-05-04]. RepRap.

Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/RepRap> >.

[15] *MCAE Systems* [online]. [cit. 2015-05-04]. Makerbot.

Dostupný z WWW: < <http://www.mcae.cz/makerbot> >.

[16] *RWetc. s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-04]. Malá CNC frézka.

Dostupný z WWW: < <http://rwetc.com/> >.

[17] *Merkurtoys* [online]. [cit. 2015-05-04]. Frézovací stroj MC30.

Dostupný z WWW: < <http://www.merkurtoys.cz/vyroby/cnc-obrabeci-stroje> >.

[18] *WEGSTR* [online]. [cit. 2015-05-04]. Přesná modelářská CNC frézka.

Dostupný z WWW: < <http://www.wegstr.com> >.

[19] Kamil Řezáč. *Krokové motory* [online]. [cit. 2015-05-04]

Dostupný z WWW: < <http://robotika.cz/articles/steppers/cs> >

[20] Elektromotor [online]. [cit. 2015-05-04]

Dostupný z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor> >

[21] HW server představuje: *Paralelní port – LPT (IEEE 1284)* [online]. [cit. 2015-05-04]

Dostupný z WWW: < <http://hw.cz/lpt> >

[22] Průmyslové aplikace laserových systémů [online]. [cit. 2015-05-04]

Dostupný z WWW: < <http://www.plslaser.cz/pdf/prumysl.pdf> >

[23] Momentové charakteristiky řady SX16, SX17, SX23 [online]. [cit. 2015-05-04]

Dostupný z WWW: < <http://www.microcon.cz/pdf2009/20-21.pdf> >

Seznam příloh

Příloha A - Výkresová dokumentace:

- SESTAVA HOBY CNC, č.v.: 2015-DVO0014-000 (formát A2)
- RÁM CNC STROJE, č.v.: 2015-DVO0014-001 (formát A2)
- SESTAVA POJEZDU OSY - X, č.v.: 2015-DVO0014-002 (formát A2)
- SESTAVA POHONU OSY - X, č.v.: 2015-DVO0014-003 (formát A3)
- SESTAVA POJEZDU OSY - Y, č.v.: 2015-DVO0014-004 (formát A2)
- SESTAVA POHONU OSY - Y, č.v.: 2015-DVO0014-005 (formát A3)
- SESTAVA POHONU A POJEZDU OSY - Z, č.v.: 2015-DVO0014-006 (formát A2)
- SESTAVA ZAJIŠTĚNÍ TYČE, č.v.: 2015-DVO0014-007 (formát A4)

Příloha B - CD s následujícím obsahem:

- Diplomová práce (formát pdf)
- Výkresová dokumentace (formát pdf)
- 3D model stroje a tři modely volitelného příslušenství (formát stp)